



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학 박사학위 논문

**과학고등학교 학생들의 ‘역학문제 만들기 활동’에서
나타나는 문제의 특징 및 구조화 과정 분석**

**An Analysis of the Features and Structuring Processes of
Problems through ‘Activity of Making Mechanics Problem’
by Science High-School Students**

2019년 2월

**서울대학교 대학원
과학교육과(물리전공)
최 우 석**

과학고등학교 학생들의 ‘역학문제 만들기 활동’에서
나타나는 문제의 특징 및 구조화 과정 분석

An Analysis of the Features and Structuring Processes of
Problems through ‘Activity of Making Mechanics Problem’
by Science High-School Students

지도교수 송진웅

이 논문을 최우석의 박사학위논문으로 제출함

2018년 10월

서울대학교 대학원

과학교육과(물리전공)

최우석

최우석의 박사 학위논문을 인준함

2019년 01월

위원장 전 동 렬 (인)

부위원장 정 대 홍 (인)

위원 채 승 철 (인)

위원 김 희 경 (인)

위원 송 진 웅 (인)

국 문 초 록

과학교육 연구에서 문제와 관련하여 다양한 관점의 논의들이 존재한다. 특히 학습자의 수준에 적합한 문제 풀이를 통해 학습자의 문제해결력이 증진된다는 관점에서 문제는 중요하게 다루어져 왔다. 그러나 교수가 학습자들의 수준을 정확히 파악하여 그에 적합한 문제를 제공하는 것은 어려운 일이다. 학습자의 수준보다 쉬운 문제는 학습자들에게 지루함을 유발하는 반면, 어려운 문제는 학습자들에게 문제해결에 대한 실패 경험을 제공하여 학습 동기 및 흥미가 저하되는 원인이 되기도 한다. 그러나 문제와 관련된 기존의 과학교육 연구는 제시된 문제에 대한 수동적인 풀이자로서 학습자의 인지적·정의적 변화를 바라보는 경우가 주를 이루고 있다. 수동적인 문제 풀이자가 아닌 능동적인 문제 제작자로서 학습자를 살펴보는 연구가 필요한 시점이다.

이에 본 연구는 앞으로 이공계 연구자로서 성장할 가능성이 높은 과학고등학교 학생들의 ‘역학문제 만들기’ 활동에서 드러나는 역학문제의 특징 및 구조화 과정을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 ‘역학문제 만들기’ 일지를 개발하여, 학습자들이 역학문제를 만드는 과정에서 영향을 받을 것으로 예상되는 물리에 대한 흥미, 이해도 및 문제를 완성하기까지 걸린 시간, 적용된 역학 개념, 단순화된 내용, 자신의 문제에 대한 완성도와 복잡도 등을 확인하였다. 본 연구의 참여에 동의한 서울 시내 소재 과학고등학교 1학년 69명을 대상으로 2018년 5월에서 7월에 걸쳐 총 4회의 ‘역학문제 만들기’ 활동이 진행되었다. 연구 참여자들이 작성한 활

동일지를 분석하여 과학고등학교 학생들이 만든 역학문제의 특징을 살펴 보았다. 이후 4명을 심층 면담 대상으로 선정하여, 역학문제의 구조화 과정을 보다 심층적으로 살펴보고자 하였다.

그 결과, 과학고등학교 학생들이 구조화한 역학문제는 다음과 같은 특징을 가지고 있었다. 먼저 연구 참여자들은 역학 분야와 관련하여 일정 수준 이상의 일관된 흥미와 이해도를 유지하고 있었으며, 이를 바탕으로 학생들이 판단하기에 비교적 높은 완성도를 가지는 역학문제를 만들고 있었다. 한편 연구에 참여한 과학고등학교 학생들은 역학에서 기본적인 차원에 해당하는 물리량인 ‘질량’, ‘시간’, ‘길이’를 중심으로 역학문제를 구성하였으며, 이러한 물리량을 통해 ‘속도’, ‘질량중심’, ‘회전 운동관련 변수’ 등을 구하는 문제를 만들고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 연구 참여자들은 자신의 문제에서 제시되는 물리량이 숫자가 아닌 문자인 경우에 문제의 완성도와 복잡도를 더 높게 평가하는 것을 확인할 수 있었다.

연구에 참여한 학생들이 자신이 만든 문제와 관련하여 서술한 문장들을 이용한 텍스트 네트워크 분석 결과, 학생들은 ‘운동량’, ‘회전’, ‘보존’이라는 단어를 중심으로 관련 개념들을 적용하여 역학문제를 구조화하고 있음을 확인할 수 있었다. 한편 자신이 만든 문제의 완성도와 복잡도를 서로 다른 기준으로 판단하고 있음을 확인할 수 있었다. 연구 참여자들은 완성도를 판단하는 근거로 ‘문제’와 ‘풀이’ 사이의 논리적 일관성에 해당하는 단어로 서술하였지만, 복잡도와 관련된 서술에서는 ‘개념’, ‘보존’, ‘계산’과 같은 단어를 중심으로 문제의 난이도와 관련된 서술이 주로 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, 학생들은 이러한 ‘역학문제 만들기’ 활동을 통해서 새로 접한 역학 개념을 자기주도적으로 적용해 볼 수 있는 유의미한 학습경험을 하고 있다고 인식하고 있었다.

한편 연구 참여자들이 작성한 역학문제는 기존의 역학문제를 참고하여

변형한 전형적인 사례도 있었으며, 스스로 판단하기에 완성도와 복잡도가 매우 높은 새로운 유형의 문제를 만들고자 하는 사례도 있었다. 이러한 두 사례 모두 비구조화된 문제에서 드러나는 특징인 개념과 법칙, 개념과 문제 상황 사이의 불연속적 관계를 확인할 수 있었다.

이후 학생들의 역학문제 구조화 과정을 확인하기 위한 심층 면담에서 학생들은 역학문제 만들기를 하는 과정에서 ‘개념 적용’, ‘단순화(혹은 구체화)’, ‘풀이를 통한 문제 수정’의 3단계를 거치는 것을 확인할 수 있었다. 또한, ‘개념 적용’ 단계는 역학 개념을 중심으로 한 문제 상황을 선정하는 경우와 문제 상황을 중심으로 역학 개념을 선정하는 경우로 나눌 수 있었다. 역학 개념을 중심으로 문제 상황을 선정하는 경우에는 문제 상황에 대한 단순화만 이루어졌으나, 문제 상황을 중심으로 역학 개념을 선정하는 경우에는 단순화와 동시에 주목하는 문제 상황과 관련하여 연속적인 역학문제 만들기를 통해 문제 상황을 구체화시켜 가는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 문제를 수정하는 과정에서는 물리량의 제시방법에 따라서 실제 상황과 유사한 숫자와 계산이 편리한 숫자 중 어떤 것을 선택할 것인지에 대한 고민 과정을 확인할 수 있었다.

한편 연구 참여자들은 ‘문제 풀이’ 활동과 ‘문제 만들기’ 활동 사이에서 자신의 역학 개념학습에 보다 효과적인 방법이 무엇인지에 대한 고민을 하는 사례도 확인할 수 있었다. 그러나 전반적으로 학생들은 ‘역학문제 만들기’ 활동을 통해 자신이 새로 접한 역학 개념을 문제 상황에 적용해봄으로써 보다 능동적인 개념학습이 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 더 나아가 자신의 문제에 대한 지속적인 검토를 통해 보다 심화된 역학 개념 및 절차 지식에 대한 학습 동기가 유발되는 것을 확인할 수 있었다.

문제와 관련된 기존의 과학교육 연구는 교과외 전문가라고 할 수 있는

교수자가 학습자의 인지 수준에 적절하다고 판단되는 잘 구조화된 문제를 제시하였을 때, 학습자가 이를 어떻게 해결하는지에 대한 탐색이 주를 이루었다. 그러나 본 연구에서 제안된 역학문제 만들기 활동은 수동적인 문제 풀이자로서의 학습자에서 벗어나, 학습자가 자신이 학습한 추상적인 역학 개념을 문제 상황에 능동적으로 적용해보는 유의미한 경험을 할 수 있다는 점에서 물리학습의 새로운 대안이 될 수 있을 것이다.

주요어 : 과학고등학교, 문제 만들기, 역학, 개념 적용, 구조화, 비구조화된 문제

학 번 : 2014-30510

차 례

I. 서 론	1
I.1. 연구의 필요성	1
I.2. 연구 문제	6
I.3. 연구 과정의 개요	7
I.4. 용어 정의	10
I.5. 연구의 한계	13
II. 선행 연구과 이론적 논의	15
II.1. 과학교육에서의 문제	15
II.2. 역학 개념 체계(자원 영역)	22
II.3. 역학적 현상(상황 영역)	31
II.4. 문제의 구조화(문제 영역)	35
III. 연구 방법	39
III.1. 연구 대상	39
III.2. 수업 구성	40
III.3. 자료 수집	42
III.4. 자료 분석	45

IV. 연구 결과	50
IV.1. 학생들의 역학문제에서 드러나는 특징	50
IV.1.1. 역학문제와 관련된 요인들 사이의 관계	50
IV.1.2. 역학문제에 제시되는 물리량의 특징	59
IV.1.3. 역학문제와 관련된 연구 참여자들의 인식	65
IV.2. 면담에서 나타난 역학문제 구조화의 특징	82
IV.3.1. 역학문제 만들기의 사례 분석	82
IV.3.2. P의 심층 면담사례 분석 결과	88
IV.3.3. H의 심층 면담사례 분석 결과	104
IV.3.4. K의 심층 면담사례 분석 결과	117
IV.3.5. J의 심층 면담사례 분석 결과	126
 V. 결론	 145
V.1. 결론 및 시사점	145
V.2. 제언 및 후속 연구 과제	152
 참고문헌	 154
 부록	 167
 ABSTRACT	 179

표 차 례

[표 2-1] Jonasson(2000)의 연구를 바탕으로 한 문제 상황의 재분류	17
[표 2-2] 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제의 비교(hong, 1998)	18
[표 2-3] 역학문제의 구조화 정도를 비교하기 위한 분석틀	19
[표 2-4] 운동학, 동역학, 정역학에 등장하는 개념들	23
[표 2-5] Fundamentals of Physics(Walker, 2010)에 등장하는 역학 개념들	26
[표 2-6] 본 연구에서의 역학 개념의 분류	27
[표 2-7] 개념 지식과 절차 지식을 통한 문제의 4가지 유형	30
[표 2-8] 문제 풀이 과정, 과학 활동, 과학적 탐구의 비교(hong, 1998)	33
[표 2-9] 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제의 특징(김민경 등, 2013)	36
[표 3-1] 차시별 역학 개념 및 분류	40
[표 3-2] 면담에 사용되었던 문항(예시)	44
[표 4-1] 차시별 흥미도 변화	51
[표 4-2] 차시별 이해도 변화	52
[표 4-3] 차시별 걸린 시간의 변화	53
[표 4-4] 차시별 완성도의 변화	54
[표 4-5] 차시별 복잡도의 변화	55
[표 4-6] 변인들 사이의 상관분석 결과	56
[표 4-7] 단일 변인에 따른 회귀분석 결과	57
[표 4-8] 복수 변인에 따른 회귀분석 결과	58
[표 4-9] 흥미도와 완성도의 관계에서 이해도의 매개효과 검증	59
[표 4-10] 역학문제에서 제시되는 물리량의 종류	60
[표 4-11] 역학문제에서 언급자 하는 물리량의 종류	61
[표 4-12] 문제 상황을 중심으로 추출한 토픽	66
[표 4-13] 적용 개념을 중심으로 추출한 토픽	69
[표 4-14] 단순화, 추상화를 중심으로 추출한 토픽	72
[표 4-15] 완성도를 중심으로 추출한 토픽	74
[표 4-16] 복잡도를 중심으로 추출한 토픽	77
[표 4-17] 물리 학습을 중심으로 추출한 토픽	80
[표 4-18] P가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용	92
[표 4-19] H가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용	106
[표 4-20] K가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용	117
[표 4-21] J가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용	126

그 립 차 례

[그림 1-1] 연구 과정의 개요	7
[그림 2-1] 4가지 문제 상황과 이상, 실제 세계 사이의 관계	34
[그림 2-2] 잘구조화된 문제와 비구조화된 문제 사이의 관계	37
[그림 2-3] 상황, 문제, 자원 영역 사이의 관계	38
[그림 3-1] 텍스트 네트워크 분석의 개요	48
[그림 4-1] 완성도와 복잡도에 따른 물리량의 종류 분포	62
[그림 4-2] 완성도와 복잡도에 따른 물리량의 개수 분포	63
[그림 4-3] 물리량 제시 방법에 따른 완성도(왼쪽)와 복잡도(오른쪽)의 분포	64
[그림 4-4] 문제 상황을 중심으로 한 워드 클라우드	66
[그림 4-5] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(문제 상황)	67
[그림 4-6] 토픽별 중요 단어 네트워크 (문제 상황)	68
[그림 4-7] 적용 개념을 중심으로 한 워드 클라우드	68
[그림 4-8] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(적용 개념)	69
[그림 4-9] 토픽별 중요 단어 네트워크 (문제 상황)	70
[그림 4-10] 단순화, 추상화를 중심으로 한 워드 클라우드	71
[그림 4-11] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(단순화, 추상화)	72
[그림 4-12] 토픽별 중요 단어 네트워크 (단순화, 추상화)	73
[그림 4-13] 완성도를 중심으로 한 워드 클라우드	74
[그림 4-14] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(완성도)	75
[그림 4-15] 토픽별 중요 단어 네트워크 (완성도)	76
[그림 4-16] 복잡도를 중심으로 한 워드 클라우드	76
[그림 4-17] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(복잡도)	77
[그림 4-18] 토픽별 중요 단어 네트워크 (복잡도)	78
[그림 4-19] 물리 학습을 중심으로 한 워드 클라우드	79
[그림 4-20] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(물리 학습)	80
[그림 4-21] 토픽별 중요 단어 네트워크 (물리 학습)	81
[그림 4-22] S가 선정한 가장 잘 만들었다고 생각하는 역학문제	83
[그림 4-23] S가 선정한 문제에 대한 풀이	83
[그림 4-24] S의 문제 구조화 과정	84
[그림 4-25] L이 만든 전형적인 역학문제	85
[그림 4-26] L이 선정한 문제에 대한 풀이	86
[그림 4-27] L의 문제 구조화 과정	86

[그림 4-28] P가 만든 전형적인 역학문제	89
[그림 4-29] 5주(왼쪽), 6주(중간), 8주(오른쪽)에 P가 제시한 문제 상황	93
[그림 4-30] P의 역학문제 구조화 순서	96
[그림 4-31] P의 역학문제 구조화 과정	99
[그림 4-32] 2주(왼쪽), 3주(중간), 5주(오른쪽)에 H가 제시한 문제 상황 ...	107
[그림 4-33] H의 역학문제 구조화 순서	109
[그림 4-34] H의 역학문제 구조화 과정	110
[그림 4-35] H의 연속적인 역학문제 구조화 과정	111
[그림 4-36] K가 선정한 가장 완성도 높은 역학문제	118
[그림 4-37] K가 만든 전형적인 역학문제(8주차)	120
[그림 4-38] K의 역학문제 구조화 순서	121
[그림 4-39] K의 역학문제 구조화 과정	122
[그림 4-40] J의 탈상황적인 역학문제(5주차)	128
[그림 4-41] J의 실험설계형 역학문제(2주차)	130
[그림 4-42] J의 역학문제 구조화 순서(두 번째 유형)	131
[그림 4-43] J의 역학문제 구조화 과정(두 번째 유형)	132
[그림 4-44] J의 사고 실험형 역학문제(10주차: 왼쪽, 11주차: 오른쪽)	133
[그림 4-45] J의 역학문제 구조화 순서(세 번째 유형)	135
[그림 4-46] J의 역학문제 구조화 과정(세 번째 유형)	136
[그림 4-47] J의 연속적인 역학문제 구조화 과정	136

I. 서론

I. 1. 연구의 필요성

문제(problems)란 문제 풀이자(solver)가 목표 달성을 원하지만 즉각적으로 그 목표에 달성할 방법을 모르는 상태(Gagné, 1985; Mayer, 1983; Chi & Glaser, 1985; 서진수 등, 2012) 혹은 바람직한 상태나 기대되는 결과에 반하는 현상, 즉 목표와 현상 간의 괴리로 정의된다(이혜주, 2007). 문제와 관련하여 Gagné(1970)는 문제를 통해 학습자가 논리적으로 생각하는 법을 가르쳐서, 더 나은 문제 풀이자가 되도록 하는 것이 교육의 핵심이라고 하였다. 따라서 문제는 학습에 있어서 중요한 요소 중 하나라고 할 수 있다. *Project 2061: Science for All Americans*(1989)에서 문제를 통한 학습과 관련하여 다음과 같이 언급하였다.

Student should be given problems-at levels appropriate to their maturity- that require them to decide what evidence is relevant and to offer their own interpretations of what the evidence means. This puts a premium, just as science does, on careful observations and thoughtful analysis. ... However, if such activities are not to be destructively boring, they must lead to some intellectually satisfying payoff that students care about(Rutherford & Ahlgren, 1990).

이처럼 교수자는 학습자의 인지적 성숙도를 고려하여 적절한 문제를 제시하고, 학습자는 이를 해결하는 활동을 통해서 과학적 역량이 길러질 수 있다고 하였다. 그러나 교수자가 학습자의 인지적 성숙도에 맞는 적절한 문제를 제시하는 것은 어렵다. 오히려 학습자의 성숙도를 고려하지

많은 어렵고 복잡한 문제로 인한 지속적인 실패를 경험한 학습자들은 물리 과목 자체에 대한 흥미에 부정적인 영향을 주게 된다(Angell *et al.*, 2004). 학습자를 고려하지 않는 교수자 중심의 문제를 통한 학습은 학습자들에게 지루함을 유발하게 되어, 만족할만한 지적인 대가(payoff)를 경험하지 못하게 한다. 따라서 문제를 이용한 학습자 중심의 교수·학습적 접근이 필요하다.

문제와 관련된 과학교육 연구에서는 연구자가 제시하는 잘 구조화된 문제를 초보자(novice)와 전문가(expert)가 해결하는 과정에서 어떤 차이가 있는지 분석하였다(Lakin *et al.*, 1980; 권재술, 이성왕, 1988). 그러나 문제의 해결 과정만큼이나 문제를 구조화하는 과정에서 학습자는 문제 상황 전체를 바라보는 초인지적 안목이 필요하다(Jonassen, 2004; Robertson, 1990; Scandura, 1977; Seel, 1999). 문제의 구조화와 관련하여 전문가 아닌 학습자들이 만든 문제의 경우, 대체로 문제 상황에 대한 정의가 엄밀하지 못하거나, 답을 얻는 데 필요한 정보가 부족한 경우가 많다. 이때 문제를 해결하기 위해서 추가적인 정의가 필요하기도 하고, 때에 따라서 심화된 과학적 개념을 학습한 학습자가 처음 만들었던 문제를 수정하기도 한다. 이러한 과정에서 학습자는 자신들이 만든 문제와 해답에 대해서 확신하지 못하기도 하는데, Gallagher 등(1995)은 이러한 문제를 비구조화된 문제(ill-structured problem, ISP)라고 하였다. 반대로 문제 상황에 대한 정의가 엄밀하고, 답을 얻기 위한 정보가 충분하며, 해결을 위한 방법이 한정적인 문제를 잘 구조화된 문제(well-structured problems, WSP)라고 정의하였다. 비구조화된 문제(ISP)는 잘 구조화된 문제(WSP)에 비해 학습자가 문제를 직접 구조화해 보는 학습경험을 제공할 수 있어 학습자에게 발견의 즐거움과 창의적 문제해결력을 증진 시킨다(Csikszentmihalyi & Getzels 1970, Cater

1988). 그러나 비구조화된 문제와 관련된 기존의 과학교육 연구들은 연구자가 설계한 ‘지구온난화의 해결방안 찾기’나 ‘화성에 우주기지 건설하기’와 같은 비구조화된 형태로 설계한 문제를 학습자가 해결하는 과정을 탐색하는 연구가 주를 이루었다(Scheele & Groeben, 1984; Means, 1993; Ericsson & Simon, 1993). 즉, 교수자 중심으로 설계된 비구조화된 문제에 대한 학습자의 해결 과정만큼이나 학습자 중심의 문제의 구조화 과정이 중요하지만, 이와 관련한 연구는 부족한 실정이다.

문제를 해결하는 과정에서 문제 상황뿐만 아니라 학습자들이 알고 있는 내용 지식 역시 중요한 요인이다(Jonassen, 1997). 학습자가 이미 가지고 있는 내용 지식은 문제의 구조화 정도에 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 특히 물리 분야와 관련된 내용 지식 중, 중요한 위치를 차지하고 있는 ‘역학(mechanics)’은 물체의 운동에 관한 연구로서, 운동학, 동역학, 정역학의 세 분야로 나눌 수 있다. 물체의 움직임에 관한 관심은 고대 그리스 시대부터 시작되어, Galileo, Newton을 거치면서 고전 역학(classical mechanics)으로 정립되었다. 이후, Maxwell이 역학 법칙을 기반으로 전자기 현상을 수식화하면서 전자기학(electromagnetism)이 완성되어, 고전 물리학(classical physics)의 두 축을 이루게 되었다. 이후 아인슈타인의 상대론, 슈뢰딩거와 하이젠베르크를 중심으로 한 양자역학에 이르는 현대 물리학의 성립에 있어서, 고전 역학은 매우 중요한 위치를 차지하고 있다(Symon, 1971). 따라서 고전 역학관련 개념의 이해와 적용은 학습자들의 물리학습에 있어서 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 따라 학습자들이 역학적 개념을 어떻게 이해하고, 적용하는지에 대한 많은 물리교육 연구들이 이루어 졌다(McDermott & Redish, 1999; Heller & Heller, 1992; Heuvelen, 1991; Reif, 1995; Byun, Ha, & Lee, 2010). 그러나 이러한 연구들은 연구자가 이미 설계해놓은

잘 구조화된 역학문제를 중심으로 학습자가 어느 정도 역학 개념을 이해하고 있는지를 확인하기 위한 개념의 이해를 중심으로 한 연구라고 할 수 있다. 학습자가 자신이 이해하고 있는 역학 개념을 보다 능동적으로 문제 상황에 어떻게 적용하는지에 대한 탐색은 아직 부족한 실정이다.

이러한 역학 개념은 매우 추상화되어 있어, 학습자들에게 이해의 어려움을 유발한다. 실제 세계의 물체의 움직임을 해석하는 과정에서 마찰이 없는 평면이나 경사면과 같은 이상적인 상황에서 질점, 강체, 이상기체와 같은 이상적인 모형의 운동을 논리적으로 설명하는 과정에서 역학적 개념과 원리의 추상성은 증가하게 된다(박종원 등, 1998). 학습자는 추상적인 역학 이론을 적용하여 문제를 구조화하는 활동에서 다양한 어려움을 경험하게 된다. 학습자들이 만든 역학 관련 문제를 구조화하는 과정에서 추상적인 역학 개념과 원리가 어떻게 적용되는지 살펴봄으로써 학습자들의 역학에 대한 이해 및 적용과정을 보다 심층적으로 파악할 수 있을 것이다.

*Next Generation Science Standards(2013)*에서 과학교육과정과 관련하여 주목해야 할 의도적 제한점으로 다음과 같은 사항을 언급하였다.

The NGSS are not meant to limit science instruction to single Scientific and Engineering Practices. They represent what students should be able to do at the conclusion of instruction, not how they should teach the material. ... While great care was taken to consider the needs of diverse populations during the development of the NGSS, no one document can fully represent all of the interventions or supports necessary for students with such varying degrees of abilities and needs.

NGSS에서 제안하는 실천(practices)은 과학자들이 세상에 대한 이론과 모델을 조사하고 개발하기 위한 실천과 공학자들이 시스템을 설계하

고 만드는 데 사용하는 실천을 중심으로 설명하고 있다. 따라서 개념에 대한 능동적 이해와 적용을 위한 학습자들의 실천과는 다르다고 할 수 있다. 즉, 학습자들에게는 수업 이후 각자의 수준과 능력에 맞춰 자신이 습득한 과학 개념을 이해하고 적용하기 위한 적절한 활동이 필요하다고 할 수 있다. 이를 위해, 교수자가 일방적으로 제시하는 문제에 대한 풀이활동에서 벗어나, 학습자가 스스로 문제를 구조화해보는 활동은 학습자들의 과학 개념에 대한 이해 및 적용에 있어서 새로운 대안이 될 수 있다. 물론 학습자가 추상적인 역학 개념을 활용하여 자기 주도적으로 만든 문제는 비구조화된 문제일 가능성이 크다. 그러나 학습자들이 자신이 알고 있는 역학적 내용을 바탕으로 스스로 문제를 구조화해보는 경험을 하게 된다면, 학습자들의 창의력과 사고의 유연성을 증진 시킬 수 있는 좋은 대안이 될 것이다.

이에 본 연구에서는 ‘역학문제 만들기 활동(Activity of Making Mechanics Problem)’을 통해 학습자들의 물리 개념의 적용 및 문제의 구조화 능력을 확인하고자 하였다. 이를 위해 물리 개념에 대한 흥미와 이해도가 높을 것이라고 기대되는 서울 시내 소재 과학고등학교 학생들을 대상으로, 자신들이 알고 있는 역학적인 개념을 바탕으로 문제를 만들어 보고, 자신들의 문제에 대한 ‘구조화 정도(완성도)’ 및 ‘난이도(복잡도)’를 스스로 평가해보도록 하였다. 이후 학습자들이 만든 역학문제를 분석하여 4명의 학생을 별도로 선정하여, 사례연구를 통해 학습자들의 문제 만들기 과정을 심층적으로 살펴보고자 하였다. 이러한 자기 주도적 문제 만들기 활동을 통해 학습자들이 개념을 보다 능동적으로 적용을 할 수 있는 ‘유연한 역학 전문가’로 성장시키기 위한 과학교육적 시사점을 모색해보고자 한다.

I. 2. 연구 문제

본 연구에서 초점이 된 연구 질문은 다음과 같다.

첫째, 과학고등학교 학생들이 역학 개념을 적용하여 구조화한 문제들에서 드러나는 특징은 무엇인가?

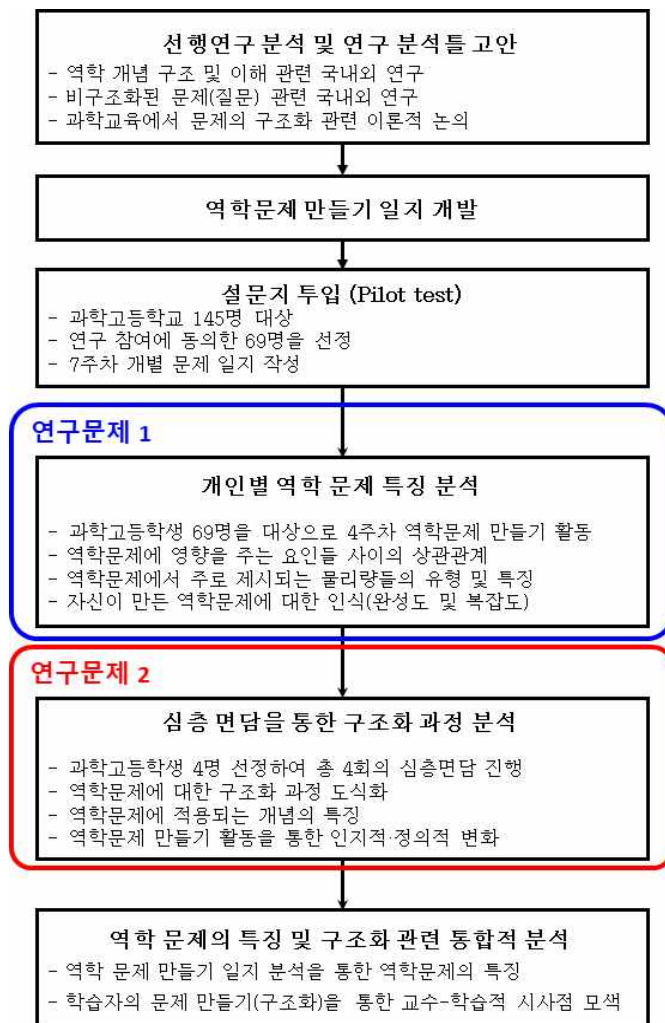
- 학생들이 역학문제를 만드는 과정에서 영향을 주는 요인들 사이에는 어떠한 연관 관계가 존재하는가?
- 학생들은 자신이 만든 역학문제와 관련된 요인들을 어떻게 인식하고 있는가?

둘째, 과학고등학교 학생들은 어떠한 과정을 통해서 역학문제를 구조화하는가?

- 학생들은 역학문제를 구조화하는 과정을 어떻게 인식하고 있는가?
- 학생들은 역학 개념을 어떻게 적용하여 문제를 구조화하는가?
- 학생들은 역학문제 만들기 활동을 통해서 어떠한 인지적, 정서적인 변화를 경험하는가?

I. 3. 연구 과정의 개요

본 연구는 과학고등학교 학생들의 역학 개념을 바탕으로 한 문제 만들기 활동에서 드러나는 구조화의 유형 및 특징, 문제에 대한 구조화의 인식 정도, 개념의 활용 유형을 살펴보고자 하였으며, 전체적인 연구 과정의 개요는 [그림 1-1]과 같다.



[그림 1-1] 연구 과정의 개요

문제의 구조화 및 역학 관련 개념의 이해에 관한 선행연구 분석을 바탕으로 학습자들의 문제 구조화 과정을 살펴보기 위한 ‘역학문제 만들기 일지’를 개발하였고, 이를 이용한 연구의 세부 과정은 다음과 같다.

예비 조사(pilot test)는 연구 대상에게 본 연구의 목적을 설명하고, 본 연구에서 개발한 ‘역학문제 만들기 일지’에 대한 연구 참여자들의 이해를 돕기 위한 목적으로 수행되었다. 이를 위해 2018년 3월 첫째 주에 서울 시내 과학고등학교 1학년 학생 145명을 대상으로 연구자가 담당하는 ‘물리학Ⅱ’ 수업 이후, 개별적으로 문제 만들기 일지를 작성하여, 다음 날 제출하도록 하였다. 이 중 유의미한 응답을 한 응답자를 중심으로 연구에 대한 전체적인 안내를 한 뒤, 연구 참여에 동의한 69명을 대상으로 2018년 3월 둘째 주와 5월 넷째 주에 걸쳐 개별적으로 총 7회의 역학문제 만들기가 진행되었다. 이를 통해 연구 참여자들은 본 연구에 대한 이해가 높아지는 계기가 되었으며, 아울러 연구 참여자들의 역학문제 만들기와 관련된 사전 자료를 얻을 수 있었다.

본 연구는 연구 참여자들이 작성한 문제 일지를 중심으로 한 양적 분석과 심층 면담 결과를 중심으로 한 질적 분석으로 나눌 수 있다. 우선 앞서 풀이자 조사 참여에 동의한 69명을 대상으로 5월 넷째 주와 6월 셋째 주에 걸쳐 개별적으로 총 4회의 역학문제 만들기를 진행하였다. 이를 통해 연구 참여자들이 역학문제 만드는 과정에서 어떠한 요인들이 영향을 주고 있으며, 이러한 요인들 사이에 어떠한 연관 관계가 있는지 살펴보고자 하였다. 또한, 연구 참여자들이 자신의 역학문제에 대하여 작성한 서술식 문항들을 바탕으로 역학문제에 대한 연구 참여자들의 인식을 바탕으로 역학문제의 유형 및 특징으로 종합적으로 도출하였다. 이후 개별적 역학문제 만들기 일지를 검토하는 과정에서 연구 참여자가 판단하기에 가장 완성도와 복잡도가 높은 문항과 일반적으로 가장 많이 나타

나는 역학문제를 각각 1문항씩 선정하여 이들의 특징을 살펴보았다. 마지막으로 기존의 역학문제를 참고하지 않고, 자신만의 방식으로 역학문제를 만들었다고 응답해 준 4명을 선정하여 심층면담을 실시하였다. 전체적인 역학문제 만들기 활동 과정에서 자신이 어떠한 방식으로 역학문제를 구조화하였으며, 이때 적용되는 역학 개념 및 문제 구조화 과정에 대한 어려움이 무엇인지 파악하기 위해 4회 이상의 심층면담을 진행하였다.

이러한 연구 결과를 종합하여 과학에 대한 흥미와 이해도가 높을 것으로 예상되는 과학고등학교 학생들의 역학문제 만들기 활동에서 드러나는 역학 개념의 적용 및 구조화 과정을 분석하여 과학교육적 시사점을 도출하고자 하였다.

I. 4. 용어 정의

문제 상황 혹은 상황 영역(problem situation or situation domain)

주어진 특정 문제를 해결하기 위한 학습자는 자연 현상 및 경험과 같은 문제 상황을 중심으로 문제를 인식한다(Driver & Warrington, 1985; Hadzigeorgiou, 1999). 유사하게 문제 제작자는 자신이 관찰한 자연 현상이나 이전의 경험을 재해석하여 문제로 만들게 된다. 예를 들어 일반적으로 낙하하는 물체를 문제로 구조화하는 과정에서 문제 제작자는 물체는 질점으로 간주하고, 공기의 저항을 무시하는 등 실제 현상과 다른 상황으로 문제를 만들게 된다. 따라서 본 연구에서는 문제 제작자가 문제로 만들기 위해 주목하는 자연 현상이나 이전의 경험을 문제 상황 영역이라고 정의하고자 한다.

문제(problem)

Gagné(1985)를 비롯한 많은 연구자가 언급하였듯이, 풀이자(solver)가 목표 달성을 원하지만, 즉각적으로 그 목표에 달성하는 방법을 모르는 상태를 문제라고 정의한다. 본 연구에서는 학습자가 능동적으로 문제를 만드는 활동을 통한 개념의 적용 및 구조화를 확인하는 것을 목적으로 하므로, 다음과 같이 문제를 재정의하고자 한다. 문제란 “문제 제작자(maker)가 특정 문제 상황을 자신이 알고 있는 지식을 활용하여, 다른 사람도 풀이할 수 있다고 판단되는 형태로 구조화시킨 모형”으로 정의하고자 한다. 따라서 문제 제작자가 문제를 만들기 위해서는 주목하는 현상인 문제 상황 영역과 이를 문제로 구조화하는 데 필요한 개념적 지

식 및 절차적 지식에 해당하는 자원 영역이 존재한다.

자원 영역(resource domain)

문제 제작자는 자신이 주목하는 문제 상황을 바탕으로 문제를 구조화하는 과정에서 자신이 알고 있던 내용 지식을 적용하게 된다. Jonassen(1997)에 따르면, 문제는 전통적으로 영역, 유형, 풀이 과정, 해답에 의해서 분류될 수 있다고 하였다. 이 중 영역은 문제와 관련된 내용인 개념, 규칙, 원리가 포함된다. 본 연구에서는 과학적 개념과 원리에 해당하는 개념 지식(conceptual knowledge)과 물리량 설정, 숫자 조정, 제한 변인 설정 등에 해당하는 절차 지식(procedural knowledge)을 문제 구조화를 위한 자원 영역이라고 정의하고자 한다.

문제 만들기 활동(Activity of Making Problems, AMP)

Jonassen(1997)은 문제 풀이 활동에는 구조적 지식, 강화기술, 초인지 기술, 동기적·정의적 요소, 자신에 대한 지식과 같은 요소들이 복합적으로 작용한다고 하였다. 또한, 풀이자는 자신의 관련 지식, 상황에 대한 경험, 인지적 관점 등에 따라 문제를 다르게 인식한다(Gardner, 1959; Hayes, 1989). 문제 풀이과정과 유사하게, 본 연구에서 주목하는 문제 만들기 과정에서도 다양한 요인들이 영향을 줄 것으로 예상된다. 즉, 문제를 만들고, 자신이 만든 문제에 대한 답을 구조화해가는 과정에서 제작자는 다양한 인지적·동기적·정의적 요소 및 경험 등이 필요할 것이다. 본 연구에서는 문제 제작자가 자신이 가지고 있는 여러 요소를 활용하여 문제와 그에 대한 답을 만드는 과정을 문제 만들기 활동이라고 정의하고자 한다.

문제의 구조화 (structuring problem)

문제 제작자는 자신이 주목한 현상에 대해서 타당한 해석을 위해, 문제를 구조화한다. 그 과정에서 문제 제작자는 자신이 관찰한 현상을 모두 문제화시킬 수 없고, 문제에 내재된 구조와 목표, 주어진 조건을 자신들의 용어(혹은 인지 체계)로 이해함으로써 문제를 재해석(representation)하려고 한다(Voss, Lawrence & Engle, 1991). 본 연구에서는 문제 제작자가 자신이 선정한 문제 상황과 알고 있는 지식(개념 및 절차적 지식)으로 재해석하여 문제로 만들어 가는 과정을 문제의 구조화라고 정의하고자 한다.

역학(mechanics)

역학이란 물체 혹은 계에 작용하는 외력에 의한 효과를 설명하는 과학의 분야로 고대 그리스 시대에서 기원하여 아리스토텔레스를 거쳐, 뉴턴에 의해서 집대성된 물체의 움직임을 설명하는 체계이다. 본 연구에서는 2015 개정 교육과정의 물리학 I, 물리학 II의 내용을 중심으로 연구자가 역학과 관련된 지식 내용을 재구성하였다.

I. 5. 연구의 한계

본 연구는 과학고등학교 학생들이 역학문제 만들기 활동하는 과정에서 문제의 유형 및 특징, 개념의 적용, 구조화 과정을 탐색하고자 하였다. 또한, 일회성의 ‘역학문제 만들기 활동’이 아닌 지속적인 ‘역학문제 만들기 활동’을 통해 연구 참여자가 전형적으로 사용하는 문제 구조화 유형을 확인하고자 하였다. 이 과정에서 학습자 스스로 자신의 역학문제에 대한 ‘구조화 정도’, ‘문제의 난이도(복잡도)’를 스스로 판단하도록 하였다. 나아가 면담을 통해 학습자들이 어떻게 역학문제를 구조화하고, 역학 개념을 적용하는지에 대해서 살펴보고, 이를 분석하는 과정에서 학습자들의 개념 적용의 특징을 살펴보고자 하였다. 그러나 본 연구에서는 다음과 같은 한계가 존재한다.

첫째, 연구 참여자를 선정하는 과정에서 유의미한 응답자 중 본 연구에 참여 의사를 밝힌 참여자를 중심으로 한 편의적 표본(a sample of convenience)으로 연구가 진행되었다. 따라서 본 연구의 결과가 과학고 학생들의 역학문제 구조화 및 역학 개념 적용의 양상을 대표한다고 할 수 없다. 또한, 문제 제작자인 학생이 스스로 자신이 만든 문제에 대해서 ‘구조화 정도’ 및 ‘문제의 난이도(복잡도)’를 판단하였기 때문에, 과학 교육 전문가가 판단하는 ‘구조화 정도’ 및 ‘문제의 난이도(복잡도)’는 다를 수 있다는 한계가 존재한다.

둘째, 역학문제 만들기 활동이 본 연구자의 ‘물리학 II’ 수업과 연계되어 진행되는 과정에서 지속적인 역학문제 만들기 활동이 진행되었으므로, 연구 참여자들의 역학 개념 이해에 수업 자체가 영향을 미쳤을 가능성이 존재한다. Driver(1981)의 연구에 따르면 학습자의 사전 개념은 개별성(personal nature), 정합성(coherence), 안정성(stability)을 가지고

있어 전통적인 교수·학습으로는 쉽게 변하기 어려움을 지적하고 있다. 따라서 본 연구자가 진행한 ‘물리학 II’ 수업이 연구 참여자의 역학관련 개념체계를 급격하게 변화시키기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 학습자들이 본 연구자의 ‘물리학 II’ 수업에 전혀 영향을 받지 않고, 평소 자신들의 역학관련 개념체계만을 활용하여 역학문제를 만들었다고 단정하기에는 한계가 있다.

셋째, 심층 면담을 진행하는 과정에서 다음과 같은 한계가 존재한다. 먼저 학습자들이 문제를 구조화하는 과정을 보다 심층적으로 살펴보기 위해 면담자를 선정하고 면담 일정을 정하는 과정에서 약 4주 정도 시간이 소요되었다. 따라서 문제 제작자의 회상을 중심으로 문제의 구조화 과정을 살펴보았기 때문에, 문제를 만들던 당시의 생생한 구조화 과정이라고 보기는 어려울 수 있다. 또한, 심층 면담자는 일반적인 역학 교재나 주변에서 접하기 쉬운 문제를 변형시킨 사례가 아닌 되도록 새로운 문제 상황이나 유형을 중심으로 문제를 구조화한 사례를 중심으로 선정하였다. 따라서 본 연구에서는 과학고등학교 학생들의 전형적인 역학 개념 적용 및 역학문제의 구조화 과정으로 일반화하기에는 역시 한계가 존재한다.

II. 선행 연구과 이론적 논의

본 장에서는 문제, 문제 풀이, 문제기반 학습, 질문 등을 중심으로 한 선행연구 분석을 통해 문제와 관련된 자원 영역, 상황 영역, 문제 영역에 대한 이론적 논의를 전개하였다. 이를 바탕으로 자원 영역에 해당하는 역학 개념 체계에 대한 이론적 논의를 중심으로 개념의 요소 및 관계를 도출하였다. 이후 상황 영역과 관련하여 역학적 현상에서 이상화와 단순화를 통한 실제 현상과 문제 상황 사이의 관계를 살펴보았다. 마지막으로 문제 영역과 관련해서, 문제의 구조화를 중심으로 한 다양한 관점의 선행연구를 통해서 잘 구조화된 문제(WSP)와 비구조화된 문제(ISP)와 관련된 특징 및 정의를 하였다.

II.1. 과학교육에서의 문제

일상생활에서 개인은 다양한 문제에 직면한다. 이러한 문제와 관련하여 Gagné(1970)는 사람들이 논리적으로 생각하는 법을 가르쳐서, 더 나은 문제 풀이자가 되도록 하는 것이 교육의 핵심이라고 하였다. 또한, 문제 해결력과 관련하여 2015 개정 교육과정에서 과학과 핵심역량 중 하나인 과학적 문제 해결력에 대해서 다음과 같이 정의하고 있다.

과학적 문제 해결력은 과학적 지식과 과학적 사고를 활용하여 개인적 혹은 공적 문제를 해결하는 능력이다. 일상생활의 문제를 해결하기 위해 문제와 관련 있는 과학적 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해 내고 활용하여 다양한 정보와 자료를 수집, 분석, 평가, 선택, 조직하여 가능한 해결 방안을 제시하고 실행하는 능력이 필요하다. 문제 해결력은 문제 해결 과정에 대한 반성적 사고 능력과 문제 해결과정에서의 합리적 의사 결정 능력도 포함한다(교육부, 2015).

문제는 초기 상황과 목표 상황 사이의 차이가 발생한 상황에서 해결하지 못한 실재(entity)이며, 이러한 실재를 발견하거나 해결하는 것은 사회적, 문화적, 지적인 가치를 가져야 한다(Jonasson, 2000). 따라서 문제와 관련해서 해결해야 하는 실재와 이에 대한 해결책이라는 두 가지 요소가 존재한다. 이중 문제의 해결은 목표지향적인 일련의 인지적 조작으로서, 풀이자는 문제를 해결하는 과정에서 문제 상황에 대한 인지적 재해석이 필요하며, 이러한 인지적 재해석을 문제 공간이라고 하였다(Anderson, 1985; Newell & Simon, 1972). 이러한 문제 공간에서 풀이자는 문제의 해결을 위해 사고라고 하는 내적인 활동이 일어나게 된다(Jonasson, 2000). 이후 문제의 맥락이나 상황에 영향을 받지 않는 일반적인 문제해결 과정(processes)과 이를 컴퓨터 프로그래밍으로 구성하기 위한 절차(protocol)에 대한 인지심리학 및 인공지능 연구가 진행되었다(Newell & Simon, 1972; Bransford & Stein, 1984; Gick, 1986; Greeno, 1978). 기존의 연구들은 문제 제작자로서의 문제를 구조화하는 과정이 아닌 풀이자로서 문제를 구조화하는 과정을 중심으로 한 연구가 주를 이루었다.

이러한 문제의 해결 과정에 대한 탐색에서 벗어나, Jonasson(2000)은 문제 자체에 주목하였다. Jonasson(2000)은 다양한 문제를 유형에 따라 11가지로 분류하였다. 그러나 문제란 문제 상황을 중심으로 한 인지적 재해석을 통해 만들어진 것이므로 상황에 대한 고려 없이 겉으로 드러난 문제의 형태를 중심으로 한 분류이므로 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 Jonasson(2000)이 제안한 11가지 유형을 문제에 주목한 상황을 중심으로 [표 2-1]과 같은 4가지 유형으로 재분류하고자 한다. 본 연구에서 재분류한 4가지 유형에 대해서는 II.3.에서 좀 더 자세히 논의하고자 한다.

[표 2-1] Jonasson(2000)의 연구를 바탕으로 한 문제 상황의 재분류

문제 상황을 중심으로 한 문제 유형의 분류	문제의 외적 형태를 중심으로 한 문제 유형의 분류(Jonasson, 2000)
탈 상황적 (de-contextualized)	논리적(logical)
	연산, 대수적(algorithmic)
	규칙 사용(rule-using)
사고 실험 (thought experiment)	모순(dilemmas)
	이야기(story)
실험 설계 (design of experiment)	오류, 사고 해결(trouble-shooting)
	진단-처방(diagnosis-solution)
	설계(design)
일상생활 (everyday-life)	의사결정(decision making)
	사례 분석(case analysis)
	전략적 수행(strategic performance)

Hong(1998)은 문제의 구조화와 관련하여 잘구조화된 문제와 비구조화된 문제 해결의 차이를 문제의 본질(nature), 문제 풀이의 과정(processes), 문제에 대한 평가(evaluation)를 중심으로 분석하였다. 이 과정에서 문제의 본질은 문제의 구성 요소와 답으로, 문제 풀이의 과정은 표상, 답, 추적관찰(monitor)로, 문제에 대한 평가는 인지, 초인지, 비인지적 요소, 정당화 기술로 범주화였다. 이를 바탕으로 잘구조화된 문제와 비구조화된 문제를 비교한 결과는 [표 2-2]와 같다. 잘구조화된 문제는 영역 특정한 지식과 구조적 지식, 인지에 대한 지식을 포함하는 인지와 관련된 요인들을 필요로 하였으나, 비구조화된 문제는 인지의 통제, 존재론적 인지, 가치, 태도, 신념과 같은 비인지적 요인이 필요하다고 하였다(hong, 1998).

[표 2-2] 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제의 비교(hong, 1998)

Criteria	Well-Structured Problems	Ill-Structured Problems
<u>Nature of Problems</u>		
Components of Problem Statement	<ul style="list-style-type: none"> • A known goal state. • A well-defined initial state, constrained set of logical state. • Constraint parameters. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vaguely defined number of goals. • Incomplete and inaccurate or ambiguous uncertain information. • Inconsistent relationship between concepts, rules, and principles among cases based on context.
Solution	<ul style="list-style-type: none"> • A single correct, convergent answer to reach a satisfaction in a final solution. 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiple solutions, solution paths, or no solution at all. • No one universal agreement on the appropriate solution.
<u>Processes of Solving Problems</u>		
Representation Problems	<ul style="list-style-type: none"> • Activating Schema 	<ul style="list-style-type: none"> • Searching information. • Selecting information. • Developing justification about the selections.
Solution Processes	<ul style="list-style-type: none"> • Searching solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Generating solutions. • Selecting a solution.
Monitor	<ul style="list-style-type: none"> • Implementing solution 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluating the solution, monitoring solving processes, and developing justification.
<u>Components for Solving Problems</u>		
Cognition	<ul style="list-style-type: none"> • Domain-specific knowledge • Structural knowledge 	<ul style="list-style-type: none"> • Domain-specific knowledge • Structural knowledge
Metacognition	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge of cognition 	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge of cognition • Regulation of cognition
Non-cognitive variables		<ul style="list-style-type: none"> • Value/Attitude/Beliefs
Justification skills		<ul style="list-style-type: none"> • Ability to develop argumentation

Eservel 등(2013)의 연구에서 물리 문제에서는 다양한 목적이 존재하기 보다는 비교적 단일한 목적이 존재하므로, 잘구조화된 문제인 경우가 많다. 그러나 본 연구에서 학습자가 자기 주도적으로 만든 역학문제의 경우 추상적인 개념에 대한 이해의 부족, 미적분을 비롯한 다양한 수학

적 계산 능력에 대한 부족, 변인을 통한 문제 상황의 구체화 능력의 부족 등으로 문제의 구조화 정도는 낮아질 수밖에 없다. 본 연구에서는 hong(1998)의 비교를 바탕으로 역학문제의 구조화 정도를 비교할 수 있는 보완된 틀을 [표 2-3]과 같이 제안하고자 한다.

[표 2-3] 역학문제의 구조화 정도를 비교하기 위한 분석틀

범주	하위 범주	잘구조화된 문제	비구조화된 문제
문제 (nature)	구성 요소 (components)	- 잘 정의된 초기 조건, 알려진 최종 상태 - 논리적인 상태에 대한 제한 조건 - 실제 값에 근거한 변인 설정	- 모호하게 정의된 여러 가지의 최종 상태 및 변인 - 불충분하고 완전하지 않거나 모호한 정보 - 개념이나 법칙들 사이의 불연속적인 관계
	답(solution)	- 단일한 답, 정확하고 수렴적인 답	- 불명확한 답, 다양한 답, 확신이 없는 답
과정 (process)	표상(representation)	- 도식(schema)의 활성화 - 조건(변인, 경계)의 명료화 - 문제 상황의 단순화(이상화)	- 조건(변인, 경계)의 불명확성 - 개념 법칙과의 약한 연결
	답(solution)	- 답에 대한 탐색(searching)	- 특정한 답을 산출, 선택(generating, selecting)
	추적 관찰(monitor)	- 답에 대한 시행(implementing)	- 가능한 답에 대한 평가(evaluating, justification)
평가 (evaluation)	인지(cognition)	- 영역 특수적인 지식(내용 지식), 구조적인 지식	- 일반화된 지식(전략), 구조적인 지식
	초인지 (metacognition)	- 출제자의 의도 파악	- 문제와 해답사이의 관계 파악 - 자신이 의도한 문제에 구조화 정도
	비인지적 요소(non-cognitive elements)		- 타인의 문제(해답)에 대한 허용적 태도
	정당화 기술 (justification skill)	- 이미 정의된 해답과의 일치	- 실제 현상에 대한 설명(예측) - 논의를 통한 적절한 답의 합의 - 논리적 일관성

한편 비구조화된 문제를 활용한 문제기반 학습(Problem-Based Learning, PBL)은 Barrows(1988)의 임상 사례를 바탕으로 한 의대 학생들을 위한 교육 프로그램의 개발에서 시작되었다. 이후 의사 교육에 전반에 걸쳐 적용되면서, 과학교육의 하나의 대안으로 등장하게 되었다 (Stepien, Gallagher & Workman, 1993). 이러한 PBL 모형은 비구조화된 문제를 학습자가 독점적으로 사용하며, 초인지적인 조언자 (Meta-cognitive Coach)로서 교수자와의 상호작용을 통해 문제를 해결하는 것을 바탕으로 한다. 그러나 이러한 PBL 모형과 관련하여, Gallagher 등(1995)은 학습자가 자신들이 배우는 것을 왜 배워야 하는지를 모르는 것이 문제임을 지적하였다. 그런데도 PBL에서 비구조화된 문제는 실제 세계의 다양한 변인들과 연관성을 가진다. 따라서 실제 세계를 해석하기 위해서는 다양한 분야의 학문적 지식이 필요하므로, 비구

구조화된 문제는 태생적으로 간 학문적(interdisciplinary)인 특징이 존재한다. 이러한 비구조화된 문제는 과학학습에서 중요한 위치를 차지하고 있지만, 교수자 중심의 문제 제시가 아닌 학습자 중심의 문제 구조화로 인식의 전환이 필요하다.

학습자들이 구조화하는 문제의 형태는 주로 질문(question)으로 나타나는 경우가 많다. 과학교육에서도 질문과 관련된 다양한 연구가 진행되었다. Harper 등(2003)의 연구에서는 일반물리학 관련 수업에서 학습자들의 질문의 유형과 질문의 난이도와 개념이해의 정도를 비교하는 연구가 진행되었다. Van Zee 등(2001)의 연구에서는 물리관련 수업에서 일어나는 초등학생 및 교사들 사이의 질문의 유형을 분석하는 연구가 진행되었다. 또한, 김성근 등(1999 a, b)의 연구에서는 학생의 질문을 강화한 수업에서의 개념의 이해도 및 질문의 유형을 분석하였다. 유사하게 학생들의 질문의 유형 및 이에 대한 학생들의 개념에 대한 이해도를 비교한 연구가 있었다(이명숙 등, 2004; 정영란, 배재희, 2002; 신명경 등, 2010). 한편으로 학생이 아닌 교사가 하는 질문에 대한 유형 및 이러한 질문이 교사의 자기 인식에 미치는 영향, 질문을 통한 학생과 교사 사이의 상호작용을 분석한 연구도 있었다(유은정 등 2008; 배미정, 김희백, 2010). 이러한 질문을 중심으로 한 연구는 본 연구에서 다루는 문제와는 다음과 같은 두 가지 측면에서 다르다고 할 수 있다. 첫째, 학생이 만들어 내는 질문은 개념의 이해를 목적으로 하지만, 문제 만들기 활동은 개념의 적용을 목적으로 한다는 점에서 질문과는 구별된다. 즉 질문과 관련하여 학생들의 이해도를 확인하는 연구가 주를 이루었지만, 역학 문제 만들기 활동은 학생들이 이해하고 있는 개념을 바탕으로 자신이 관심 있는 문제 상황에 역학적인 개념 및 원리를 적용하는 구조화 과정을 살펴본다는 점에서 질문과 문제 만들기 활동은 구별된다. 둘째, 학생들

이 만들어 내는 질문은 해결의 주체가 학생이 아닌 교사이지만, 문제 만들기 활동에서 해결의 주체는 문제를 만든 학생 본인이라는 점에서 구별된다. 즉 질문과 관련된 연구는 교사와 학생의 상호작용을 중심으로 다루지만, 문제 만들기 활동은 학습자 개인을 중심으로 한다는 점에서 구별된다.

학습자가 역학문제를 만드는 활동에는 자신이 알고 있는 역학 개념을 비롯한 수학적 계산 능력, 학습자가 주목하는 문제 상황, 문제 자체의 구조화 정도가 역동적으로 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 학습자 중심의 문제 만들기 활동은 기존의 비구조화된 문제를 활용한 PBL이나 질문하기 활동과는 다른 고유의 활동임을 확인할 수 있었다. 이제 문제 만들기 활동에 영향을 주는 개념 및 절차적 지식에 해당하는 자원 영역, 실제 세계와 이상 세계 사이의 설정 가능한 문제 상황 영역, 문제의 구조화 정도에 따른 문제 영역에 대해서 추가적인 논의를 정리하고자 한다.

II.2. 역학 개념 체계(자원 영역)

역학(mechanics)은 물체의 운동에 관한 연구로서, 크게 운동학, 동역학, 정역학으로 나눌 수 있다(Symon, 1971).¹⁾ 운동학(kinematics)은 질점, 물체, 두 물체 이상으로 이루어진 계의 운동에 관한 내용으로 운동 상태 변화의 원인인 힘에 대한 고려 없이 시간에 따른 물체의 운동 상태를 기술하는 것을 목적으로 한다(Edmund, 1904; Joseph, 1983; Thomas, 1896). 반면 동역학(dynamics)은 운동 상태 변화의 원인인 힘과 돌림힘이 작용하는 과정에서 뉴턴의 세 가지 법칙을 중심으로 물체의 운동 상태를 기술하는 것을 목적으로 한다(Wilson, 2003; Marion & Thornton, 1995). 한편 정역학(statics)는 계(system)의 운동 상태를 변화시키는 원인인 힘과 돌림힘이 없는 경우, 뉴턴 제1 법칙(관성의 법칙)을 중심으로 계의 안정성을 기술하는 것을 목적으로 한다(Hibbeler, 2010; Meriam & Kraige, 2007). 역학과 관련된 개념 체계에 대해서 다양한 관점의 해석들이 이루어졌다. 예를 들어 Halloun(2006)은 Kuhn의 과학적 패러다임을 바탕으로 역학의 개념 체계를 해석하였으며, Hestenes(1992)는 역학관련 개념 체계를 체스 게임에 비유하여 해석하기도 하였다. 그러나 역학의 개념 체계는 뉴턴 이후 후대의 여러 물리학자들의 해석을 거치며 완성된 방대하고 복잡한 개념 체계라는 점에서 어느 하나의 관점으로 역학의 개념 체계를 바라보기에는 한계가 있다. 그러나 역학은 ‘게임의 규칙’을 결정하고, 물리학의 주요 도구를 정의함으로써 자연의 가장 보편적인 법칙을 제시하고 있다는 점에서 중요한 의미를 가지고 있다(Galili, 1995). 따라서 대학교의 물리학 관련 입문 교재를 비롯한 심화 교재에서도 역학은 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

1) 역학은 자연 현상을 기술하는 수학적 전개 구조에 따라서 뉴턴 역학, 라그랑주 역학, 해밀턴 역학으로 분류하기도 한다(Corben & Stehle, 1960)

대학의 역학 강의에서 주로 사용하는 교재를 중심으로 역학의 세 영역과 관련된 개념들을 정리하면 [표 2-4]와 같다.

[표 2-4] 운동학, 동역학, 정역학에 등장하는 개념들

영역	개념
운동학 (Joseph, 1983)	좌표계, 벡터, 축 변환 방향 코사인, 오일러 각, 각 변위, 오일러 정리 변위[\vec{r}](최단 경로), 행렬(R, τ , S) 속도[$d\vec{r}/dt$], 가속도[$d^2\vec{r}/dt^2$], jerk[$d^3\vec{r}/dt^3$], 상대속도 오일러 파라미터 원통 좌표계, 구 좌표계 기하광학, 강체의 운동, 원뿔 운동, 텐서
동역학 (Marion & Thornton, 1995)	좌표변환, 행렬, 벡터, 스칼라, 속도, 가속도, 각속도 뉴턴 법칙, 좌표계, 운동방정식, 에너지 단순조화진동, 2차원 조화진동, 감쇠진동, 푸리에 급수 비선형진동 중력 퍼텐셜, 중력 오일러 방정식, 마찰 헤밀턴 원리, 일반 좌표계, 라그랑지안, 헤밀토니안 환산질량, 보존원리, 중심력에 의한 퍼텐셜에너지, 케플러 법칙 질량중심, 선운동량, 각운동량, 탄성충돌, 유효단면적 좌표계의 회전, 전향력 관성 텐서, 각운동량, 오일러 각, 오일러 방정식, 동적 안정성 꺼울림 진동, 분자 진동 파동방정식, 강제진동, 감쇠진동, 위상속도, 분산, 군속도 갈릴레이 상대론, 로렌츠 변환, 특수상대론, 시공간
정역학 (Hibbeler, 2010)	단위환산, SI단위계 벡터, 스칼라, 좌표계 자유물체도, 입자의 평형 조건 모멘트, 자유물체도 강체의 평형 조건, 평형 방정식, 자유물체도 구조물의 평형 내력, 장력 마찰력, 굴림마찰 무게중심, 질량중심, 유체의 압력 관성 모멘트 일, 보존력, 퍼텐셜 에너지, 정적 안정성

역학의 세 영역에서 공통으로 좌표계와 벡터에 관한 내용을 다루고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 역학과 관련된 많은 물리량이 좌표계와 벡터를 이용하여 기술되므로 좌표계와 벡터에 대한 이해는 일종의 절차적 지식에 해당한다고 할 수 있다.

반면 운동학의 경우에는 시간에 따른 운동 상태를 기술할 수 있는 변위(\vec{r}), 속도($\vec{v} = d\vec{r}/dt$), 가속도($\vec{a} = d\vec{v}/dt$)라는 물리량을 중심으로 병진운동과 회전운동을 기술하고 있음을 확인할 수 있다. 운동학의 경우, 운동 상태의 변화의 원인인 힘, 토크를 제외한 시간에 따른 물체의 운동 상태에 관한 기술만을 중심으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다. 또한, 가속도의 시간 변화량($d\vec{a}/dt$)인 ‘jerk’라는 물리량을 정의하거나, 각각의 물리량을 정의한 후 바로 병진운동과 회전운동에 도입하는 구성은 대학교에서 물리학 입문과정에 주로 사용하는 일반물리학 교재에는 제시되지 않는 역학 개념이라고 할 수 있다.

동역학의 경우, 뉴턴의 역학 법칙을 중심으로 해서 진동, 궤도 운동과 같은 다양한 물리적 상황에 대한 해석, Hamiltonian과 Lagrangian을 이용한 물리적 상황의 해석 및 뉴턴역학과의 연관성을 확인하는 형태로 이루어져 있다. 이후 질점을 중심으로 한 병진 및 공전 운동에 대한 해석을 중심으로 물리량을 서술하는 방식에서 확장하여, 강체를 중심으로 한 다양한 회전운동을 설명할 수 있는 각운동량, 회전 관성 모멘트와 같은 물리량을 서술하는 방식으로 질점 동역학과 강체 동역학으로 구분할 수 있음을 확인할 수 있다.

마지막으로 정역학을 관통하는 물리 개념은 뉴턴의 역학 법칙이라고 할 수 있다. 물체의 정적 안정성과 관련하여, 병진운동에서의 평형 조건($\sum \vec{F} = 0$)과 회전운동에서의 평형 조건($\sum \vec{\tau} = 0$)을 중심으로 여러 물체로 이루어진 계의 안정성을 기술하는 것을 중심으로 하고 있다. 다른 역

학 분야와는 다르게, 정역학에서는 자유물체도(free-body diagram)를 이용한 운동방정식의 풀이가 정역학의 중심을 이루고 있고, 보존력에서 정의되는 퍼텐셜에너지의 변위에 따른 변화 그래프를 통해서 계의 정적 안정성을 기술하는 것을 확인할 수 있다.

한편, 물리학 입문 과정에서 가장 많이 활용되는 교재인 Walker(2010)의 Fundamentals of Physics(10th ed.)에서 앞서 언급한 역학의 3영역을 다루고 있는 부분은 1장에서 17장까지에 해당한다. 각 장에서 다루고 있는 개념들을 역학의 3영역을 기준으로 정리하면 [표 2-5]와 같다.

[표 2-5] Fundamentals of Physics(Walker, 2010)에 등장하는 역학 개념들

Chapter	개념	영역
1	측정, 단위환산, 길이, 시간, 질량, 밀도	운동학, 동역학, 정역학
2	위치, 변위, 속도, 가속도, 등가속도운동	운동학
3	스칼라, 벡터(연산, 합성 등)	운동학, 동역학, 정역학
4	위치벡터, 변위, 속도, 가속도, 상대속도	운동학
5	힘, 뉴턴 법칙, 관성 질량, 자유물체도(운동)	동역학
6	마찰(운동), 저항력, 중단속도	동역학
	마찰(정지), 자유물체도	정역학
7	운동에너지, 일, 일-운동에너지 정리, 탄성력, 일률	동역학
8	보존력, 퍼텐셜 에너지, 역학적 에너지 보존	동역학
	퍼텐셜 에너지 곡선	정역학
9	질량 중심, 계, 계에서의 뉴턴 법칙, 선운동량 충돌, 선운동량 보존,	동역학
10	각변위, 각위치, 각속도, 각가속도, 등각가속도 선변수와 회전변수 사이의 관계	운동학
	회전 운동에너지, 회전관성, 토크, 뉴턴 법칙 (회전), 일-회전 운동에너지 정리	동역학
11	토크, 각운동량, 뉴턴 법칙, 각운동량 보존, 강체,	동역학
12	정적 평형, 무게 중심, 탄성, 변형	정역학
13	만유인력, 중력가속도, 중력 퍼텐셜에너지, 탈출속력, 케플러 법칙, 일반상대론	동역학
14	이상 유체, 연속방정식, 베르누이 원리	동역학
	유체의 압력, 파스칼의 원리, 아르키메데스의 원리	정역학
15	진동수(주기), 단순조화운동, 감쇠진동, 강제진동	동역학
16	중첩, 간섭, 위상, 정상파, 공명	동역학
17	위상차, 맥놀이, 도플러 효과, 충격파	동역학

Walker(2010)의 일반물리학 교재에서의 역학은 운동학의 기본적인 내용에서부터 시작하여, 뉴턴 법칙을 바탕으로 한 동역학이 주된 내용을 차지하고 있으며, 정역학과 관련된 내용은 12장의 평형과 탄성을 중심으로 간략히 소개되어 있음을 확인할 수 있으며, 텐서나 Hamiltonian, Lagrangian과 같은 심화된 물리적 개념에 대한 언급은 제외되어 있음을

확인할 수 있었다. Serway & Jewett(2018), Tipler & Mosca(2007) 등의 다른 일반물리학 교재 역시 Walker(2010)과 유사한 구성으로 되어 있음을 확인할 수 있었다.

위의 논의를 바탕으로 본 연구에서는 역학 개념을 [표 2-6]과 같이 분류하고자 한다.

[표 2-6] 본 연구에서의 역학 개념의 분류

영역	세부 역학 개념	
공통	측정, 단위, 물리량(길이, 질량, 시간), 벡터, 스칼라, 좌표계	
운동학	기본	[병진, 회전] 위치, 변위, 속도, 가속도, 상대속도
	심화	jerk, 텐서, 기하광학, 오일러 파라미터
동역학	기본	[병진-힘] 뉴턴 법칙, 힘, 관성 질량, 마찰, 보존력, 만유인력, 중력, 케플러 법칙
		[병진-에너지] 운동에너지, 일-운동에너지 정리, 퍼텐셜 에너지, 역학적 에너지, 역학적 에너지 보존
		[병진-운동량] 질량중심, 선운동량, 선운동량 보존
		[회전- 힘, 에너지] 회전 운동에너지, 일-회전 운동에너지 정리, 토크
		[회전-운동량] 강체, 회전관성, 각운동량, 각운동량 보존
		[유체] 이상 유체, 연속방정식, 베르누이 원리
		[진동, 파동] 진동수(주기), 단순조화운동, 감쇠진동, 강제진동, 중첩, 간섭, 위상, 정상파, 공명, 도플러 효과
	심화	환산질량, 관성텐서, Lagrangian, Hamiltonian 비선형 진동, 파동 방정식, 로렌츠 변환
정역학	기본	마찰(정지), 정적 평형(안정성), 퍼텐셜 에너지 곡선 유체의 압력, 파스칼의 원리, 아르키메데스의 원리
	심화	모멘트, 굴림마찰, 내력, 장력

물리학습과 관련되어 지금까지 다양한 관점에서 연구가 이루어졌다. 우선 물리 개념의 이해와 관련하여, 학습자들이 어떠한 ‘오개념(혹은 선 개념, 대안개념)’을 가졌는지에 대한 유형화의 연구가 이루어졌다 (Driver, 1981; Clement, 1982; 박윤배, 1991; 송진웅 등, 2004). 또

한, 구성주의적 관점을 바탕으로 이러한 ‘오개념’을 가지게 되는 인지적 원인과 개념의 변화 과정을 탐색하는 연구도 이루어졌다(Ryan & Aikenhead, 1992; Posner et al., 1982). 이러한 연구 성과를 바탕으로 학습자의 ‘오개념’을 수정하기 위한 다양한 인지모형 및 교수·학습모형들이 제안되기도 하였다(Andersson 1986; Clemet, 1993; 김익균, 1991).

이후 물리 학습과 관련하여 또 다른 시각으로 물리적 개념에 대한 이해의 어려움과 관련된 연구가 있었다(이주현, 2007). 물리 학습에서 어려움에 대한 정의는 주로 개념적인 이해의 어려움이나 잘못된 추론과 같은 인지적 어려움이었다(McDermott, Rosenquist & Van Zee, 1987; Rebmann & Viennot, 1994). 변태진(2012)은 물리 문제해결과정에서 학습자가 겪는 어려움을 학습자가 초기 상태에서 목표상태로 쉽게 이르지 못하는 것을 인지하는 것으로 정의하였다. 더 나아가 학습자들이 물리적 개념을 자신의 인지 체계 안으로 포함하기 어려운 인지적 요인, 정서적 요인에 신념을 포함하는 통합적인 연구가 진행되었다(박지연, 이경호, 2004; 이경호, 2007). 그러나 이러한 연구들은 학습자가 아닌 연구자의 관점에서 살펴본 학습자 내부의 인지적·심리적 상태에 대한 간접적인 접근이라는 점에서 한계가 존재한다.

이전의 물리 문제 풀이와 관련된 연구는 연구자가 선정한 역학 관련 문제를 초보자(novice)와 전문가(expert)가 해결하는 과정에서의 차이를 비교하는 것이 주를 이루었다(Larkin et al., 1980; 권재술, 이성왕, 1988). 또한, 물리 문제에 대한 표상(representation)을 근거로 범주화(categorization)가 가능한지 살펴보고, 전문가와 초보자가 사용하는 범주의 차이, 범주와 연관된 지식의 차이들을 살펴보는 연구도 있었다(Chi, Feltovich & Glaser, 1981). 이 연구에 따르면, 전문가는 역학문제를 범주화하는 과정에서 역학문제와 관련된 개념 및 원리에 해당하는

심층적인 구조를 중심으로 범주화하는 반면, 초보자는 문제에 제시된 용어를 중심으로 한 표면적 구조로 범주화하는 경향이 있음을 밝혀내었다. 또한, 문제를 재해석하는 과정에서 전문가와 초보자가 활용하는 지식의 도식(schema) 역시 다름을 밝혀내었다. 그러나 이 역시 연구 참여자는 연구자가 제시한 문제를 수동적으로 해결하는 과정을 참여한다는 점에서 한계가 존재한다.

한편 잘 구조화된 문제를 푸는 일반적인 풀이법(the General Problem Solver, GPS)이 존재하고, 이러한 GPS에는 두 가지 공간이 존재하는데, 하나는 문제해결을 위한 탈맥락적인 규칙 공간(rule space)이고, 나머지 하나는 문제와 관련된 개념 및 배경 지식에 대한 대상 공간(instance or object space) 이다(Simon & Lea, 1974; Klahr & Dunbar, 1988). 이러한 GPS는 잘 구조화된 문제뿐만 아니라 비구조화된 문제의 풀이에도 적용된다고 하였다(Simon, 1973). 문제 풀이와 유사하게, 문제를 구조화하는 과정에서 필요한 물리량 설정, 물리량의 제시방법, 계산 능력 등은 규칙 공간과 관련된다고 할 수 있다. 반면 역학문제를 만드는 과정에서 적용되는 역학 개념은 대상 공간과 관련된다고 할 수 있다. 특히 이러한 개념 공간과 규칙 공간의 상호작용을 통해서 역학문제는 더욱 구체화 될 것이다. 각각의 공간은 단순함과 복잡함, 어렵고 쉬운 정도에 따라서 역학문제를 다음과 같은 4차원으로 유형화될 수 있을 것이다. 우선 기본 개념과 단순한 규칙으로 이루어진 문제가 가능하다. 이는 인지적 수준 및 개념에 대한 이해도가 낮은 학습자들을 대상으로 단순계산을 통한 개념의 확인을 목적으로 한 문제이다. 두 번째는 심화된 개념을 단순한 규칙으로 구성한 문제가 가능하다. 이는 계산이나 절차적 복잡성을 최소화 하고 개념에 대한 이해를 주목적으로 한다. 세 번째는 기본 개념을 복잡한 규칙으로 구성한 문제가 가능하다. 이는 학습자가 이해한 개념을 바

탕으로 보다 실제 측정 가능한 물리량을 중심으로 현상을 해석하는 과정에서 구조화된 문제이다. 마지막으로 심화된 개념과 복잡한 규칙으로 구성된 문제가 가능하다. 이는 실제 현상을 설명하기 위한 가능한 모든 개념과 규칙을 이용한 문제로 문제 제작자의 매우 높은 문제 구조화 능력을 요구한다. 이를 표로 정리하면 [표 2-7]과 같다.

[표 2-7] 개념 지식과 절차 지식을 통한 문제의 4가지 유형

		개념 지식	
		기본	심화
절차 지식	단순	기본 개념 + 단순 절차	심화 개념 + 단순 절차
	복잡	기본 개념 + 복잡 절차	심화 개념 + 복잡 절차

복잡하고 심화된 개념에 대한 학습이 이루어질수록 학습자 내부의 지식체계의 비구조화 정도는 증가하기 때문에, 학습자가 심화되고 추상화된 지식을 습득하기 어렵다(Spiro, 1988). 따라서 추상적인 역학 개념을 학습한 학습자가 스스로 구조화한 역학문제는 필연적으로 비구조화된 상태일 수밖에 없다. 그러나 Janassen(1997)은 비구조화된 문제 풀이의 경우 잘구조화된 문제 풀이와는 다른 배경지식과 맥락에 따라 구성주의적 시각에서 접근해야 함을 지적하고 있다. 이와 유사하게 학습자가 만든 비구조화된 문제를 파악하기 위해서는 학습자의 배경지식과 맥락에 대한 구성주의적 관점이 필요하다.

II.3. 역학적 현상(상황 영역)

물리학은 경험 과학으로, 물리학자들은 자연 현상의 관찰을 통해, 이와 관련된 유형을 찾아내기 위해 노력한다(Young & Freedman, 2014). 따라서 외부 현상의 관찰이 없는 물리학은 무의미하다고 할 수 있다. 외부 현상으로부터 얻어낸 정보에서 유형을 찾아내기 위해서 인간은 이상화(idealization)라는 방법을 고안하였다(박종원 등, 1998). 예를 들어, 실제 기체에서 일어나는 다양한 현상을 설명하기 위해서 역학에서는 이상 기체라는 이상적인 모형을 도출하였다. 이를 바탕으로 기체의 압력, 내부에너지와 같은 물리량을 정의할 수 있었다. 이외에도 마찰이 없는 평면이나 물체의 형태를 무시한 질점과 같이 실생활의 물리적 현상을 설명하기 위해서 역학에서는 이상적인 대상이나 상황을 중심으로 역학 법칙들이 적용된다. 따라서 역학 개념을 학습하는 학습자는 실제 세계와 이상 세계 사이에 필연적인 간극을 경험하게 된다. 따라서 학습자가 추상적이고 이상적인 역학 개념을 자신이 주목한 문제 상황에 적용하는 과정에서 다양한 문제 상황을 경험할 수 있다. 앞서 II.1.에서 언급하였듯이, Janasson(2000)은 문제의 유형을 총 11가지로 분류하였으나, 본 연구에서는 문제를 구성하는 상황의 구체화 정도에 따라서 4가지 문제 상황으로 재분류하였으며, 각 문제 상황은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

먼저, 문제 상황이 탈상황적(De-contextualized)인 경우가 존재한다. 이는 흔히 개념 중심의 물리학 교재에서 등장하는 문제 상황으로서 주로 물리적 개념, 법칙을 중심으로 구성된 문제 상황이다(Jonassen, 2000). 학습자들의 개념에 대한 이해를 확인하기 위한 문제로, 문제의 구체적 상황이나 변인들을 제거한 상태의 문제를 말한다. 역학과 관련해서는, 마찰이 없는 평면에서 물체의 운동, 공기저항을 무시한 자유낙하와 같은

문제 상황으로 실세계에서는 존재하지 않는 이상적인 역학 상황이라고 할 수 있다.

둘째, 문제 상황이 사고 실험(Thought experiment)인 경우가 존재한다. 사고 실험이란 사물의 실체나 개념을 이해하기 위한 가상의 시나리오이다. 이는 실험적으로는 구현할 수 없고, 어떻게 동작하는지에 대해서 오로지 사고를 통해서 구현 가능한 문제 상황이다(Cohen, 2008). 이러한 사고 실험에 대해서 Yeates(2004)는 다음과 같이 언급하였다.

A thought experiment is a device with which one performs an intentional, structured process of intellectual deliberation in order to speculate, within a specifiable problem domain, about potential consequents(or antecedents) for a designated antecedent(or consequent).

역학과 관련한 대표적인 사고 실험으로는 갈릴레오의 배, 피사 사탑에서의 자유낙하, 파인만의 스프링클러(sprinkler), 원숭이와 사냥꾼, 뉴턴의 대포 등이 존재한다. 이러한 사고 실험의 경우 실제상황에 기반을 두지만, 실제로는 구현할 수 없고, 오로지 역학적 개념으로 논리적 사고를 통하여 현상을 설명하고 예측한다고 할 수 있다.

셋째, 문제 상황이 실험 설계(Design of experiment)인 경우가 존재한다. Hong(1998)은 과학적 탐구와 과학 활동, 문제 풀이 과정을 [표 2-8]와 같이 비교하였다.

[표 2-8] 문제 풀이 과정, 과학 활동, 과학적 탐구의 비교(hong, 1998)

문제 풀이 과정	과학 활동	과학적 탐구
-문제의 정의하기	-대상과 사건의 기술 -질문하기(Asking questions)	-관찰 -질문유발(Posing questions)
-정보 탐색하기 -정보 선택하기 -선택한 정보 조직하기	-지식 획득하기 -아이디어들 사이의 자연 현상 관계에 대한 설명 구성하기	-이미 알려진 것에 대한 이해를 위해 다른 정보와 자료의 검토
-선택을 위한 정당화	-아이디어 사이의 관계를 수식화하기 위한 논리를 기술	-실험적 증거를 고려하여, 이미 알고 있는 것에 대한 검토
-해답의 생성	-다양한 방법으로 설명을 검증	-조사를 계획 -자료의 수집, 분석, 해석을 위한 도구 사용
-잠재적 답을 제안	-많은 사건에 설명을 적용하고, 다른 자연 현상을 예측	-답, 설명, 예측을 제안
-답에 대한 정당화	-자신의 아이디어를 다른 사람과 주고받음	-결과를 주고받음

사고 실험과는 다르게 실험 설계는 문제 제작자가 주목한 현상에 대해서 구현할 수 있고, 이를 논리적으로 수식화할 수 있으며, 자신의 아이디어를 다른 사람과 주고받을 수 있다는 점에서 과학 활동과 유사하다. 따라서 실험 설계를 바탕으로 한 문제 상황은 실험실과 같은 제한된 조건에서 구현할 수 있고, 이를 논리적으로 설명할 수 있으며, 유사한 다른 현상을 예측할 수 있다. 그러나 일상생활에서는 구현하기 어렵고, 통제된 환경인 실험실 상황에서 구현된다는 점은 일상에서 접하는 현상과

는 차이가 있다고 할 수 있다.

넷째, 문제 상황이 일상생활(Everyday life)인 경우가 존재한다 (Jonassen, 2000; hong 1998). 문제 제작자는 통제된 환경이 아닌 일상에서 자신이 경험한 내용을 바탕으로 한 문제 상황을 자신의 문제로 구조화 한다. 이러한 점에서 실험 설계 상황보다는 일상생활을 중심으로 한 문제 상황이 실제 세계에 더 근접한 문제 상황이라고 할 수 있다. 일상생활의 문제 상황은 상황에 관한 서술이 전제되어야 하므로, 주로 스토리를 중심으로 한 사례 분석의 형태를 가지게 된다.

이러한 4가지 문제 상황과 이상, 실제 세계 사이의 관계는 [그림 2-1]과 같다고 할 수 있다.



[그림 2-1] 4가지 문제 상황과 이상, 실제 세계 사이의 관계

II.4. 문제의 구조화(문제 영역)

역학문제의 경우 문제 해결에 있어서 다양한 목적이 존재하기보다는 비교적 단일한 해답이 존재하는 경우가 많다(Eseryel, Ifenthaler & Ge, 2013). 그러나 학습자는 추상적인 개념과 여러 변인이 복잡하게 얽혀 있는 역학문제에 대해서 문제해결을 위한 조건이 빠진 비구조화된 문제라고 판단할 수 있다. 이러한 복잡하고 비구조화된 문제를 성공적으로 풀기 위해서, 풀이자는 자신들의 ‘마음의 눈(mind’s eye)’으로 역동적인 문제로 이루어진 계를 바라보고, 자극할 수 있어야만 한다(Seel, 2001). 그러나 아직 추상적인 역학 개념에 대한 이해나 적용이 어려운 학습자들에게는 이러한 복잡하고 비구조화된 역학문제에 대한 풀이를 포기하게 하고, 이러한 문제해결에 대한 실패 경험은 더 나아가 역학 학습에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 학습자가 주도적으로 만든 문제를 만드는 활동은 자신이 알고 있는 내용 지식의 범위 내에서 일상생활에서 경험하게 되는 역학적 현상을 해석해보는 경험을 제공하므로, 역학 학습에 있어서 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한, ‘역학문제 만들기 활동’은 2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)에서 강조하는 핵심역량 중 과학적 사고력, 과학적 탐구능력, 과학적 문제해결력을 증진시킬 수 있는 또 하나의 대안이 될 것이다.

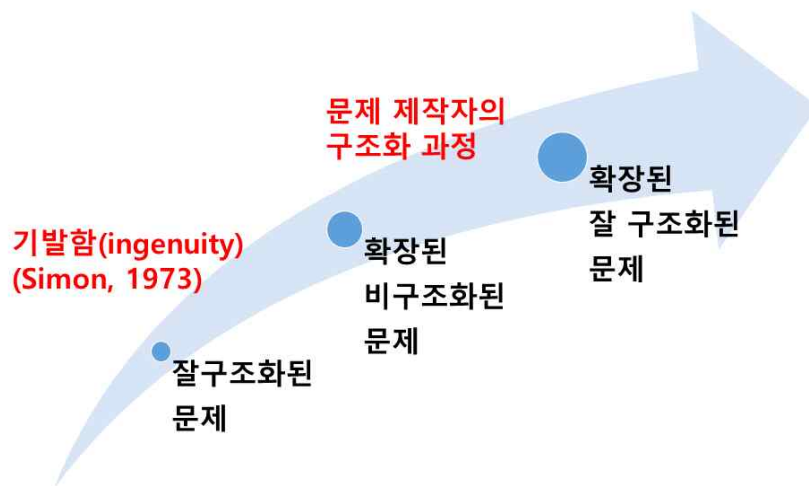
문제의 구조화 정도에 대한 논의는 정보처리 및 인지과학을 중심으로 한 연구에서 출발하였다. Simon(1973)은 문제의 구조상 몇몇 측면에서 정의가 부족한 문제를 비구조화된 문제로, 문제와 관련된 모든 요소가 잘 정의된 문제를 잘 구조화된 문제로 정의하였지만, 이들 사이에 명확한 경계가 존재하지 않는다고 하였다. 이후 Jonassen(1997)은 문제를 구조화의 정도에 따라 퍼즐 문제, 잘 구조화된 문제, 비구조화된 문제로

분류하였다. 퍼즐 문제는 애너그램(anagram)이나, 배를 이용하여 강을 건널 수 있는 최단 횟수 구하기와 같이 탈 맥락화된 문제로, 내용 지식이나 경험이 없더라도 해결 가능하며, 학습과 무관한 문제라고 하였다. 반면 특정 영역을 기준으로 한정적인 내용에 의존하는 문제를 잘 구조화된 문제라고 하였다. 또한, 특정 맥락에서는 드러나지만, 문제에 관한 기술이 명확하지 않고, 일상생활 혹은 딜레마 상황에서 나타나는 문제를 비구조화된 문제라고 하였다(Jonassen, 1997; Frederiksen, 1984; 박성익, 조영환, 2005; 김민경 등, 2013). 김민경 등(2013)의 연구에서는 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제가 가지는 특징을 [표 2-9]와 같이 비교하였다.

[표 2-9] 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제의 특징(김민경 등, 2013)

잘 구조화된 문제	비구조화된 문제
문제에 관한 모든 요소를 제시하고 있으며, 해결 과정이 정해져 있음.	사례요소는 각기 다른 맥락에서 별도로 중요하고, 상호작용하기 때문에 원형이 되는 사례가 존재하지 않음.
문제 진술에 구체화된 문제의 조건을 나타냄으로써 있을 법한 해를 지닌 잘 정의된 문제 형태로 제시됨. 구조화되고, 예측 가능한 지식 영역에 있는 표준적이고, 구조화된 개념 및 규칙을 수반하며, 문제의 모든 조건들 사이의 관련성이 이미 알려져 있거나 이해하기 쉬운 해를 가짐.	사례들 사이의 개념, 규칙, 원리들은 일관성 없는 관계를 가지며, 일반적인 규칙이나 원리를 제공하지 않을 뿐만 아니라 학습자로 하여금 문제에 대한 개인적 의견 및 신념을 표현하도록 하며, 문제에 관한 판단을 하고, 변호하도록 요구함.
제한된 범위에서 예언적이고, 처방적인 방식으로 조직된 제한된 수의 규칙과 원리를 적용하도록 유도하며, 수렴적인 답을 가짐.	문제 요소들이 하나 이상 알려지지 않거나, 모호하게 정의됨. 혹은 문제해결에 필요한 개념, 규칙, 원리들이 어떻게 조직되는지 불확실함.
문제의 모든 조건들 사이의 관련성 및 취사선택에 대해 이미 알려져 있거나 혹은 개연적인 곳에서 알기 쉽고, 이해하기 쉬운 해를 가짐.	여러 답 또는 해결방법이 존재하거나 혹은 해가 존재하지 않고, 해결을 평가하는 여러 가지 준거를 가지며, 조작할 수 있는 것들에 대한 제한이 적음.

한편 Simon(1973)의 연구에 따르면, 잘 구조화된 문제라도 문제풀이자의 기발함(ingenuity)에 따라서 확장된 비구조화된 문제로 이동이 가능할 수 있음을 지적하였다. 따라서 이미 개발된 잘 구조화된 문제를 풍부한 경험에 있는 학습자가 어느 정도의 기발함을 갖추고 있다면, 잘 구조화된 문제를 복잡하고 비구조화된 문제로 변형을 할 수 있고, 이렇게 변형이 된 문제는 기존의 잘 구조화된 문제보다 확장되고, 이를 보다 잘 구조화하기 위해서는 심화된 개념이 필요하게 될 것이다. 따라서 비구조화된 문제와 잘 구조화된 문제 사이의 관계는 [그림 2-2]와 같다.

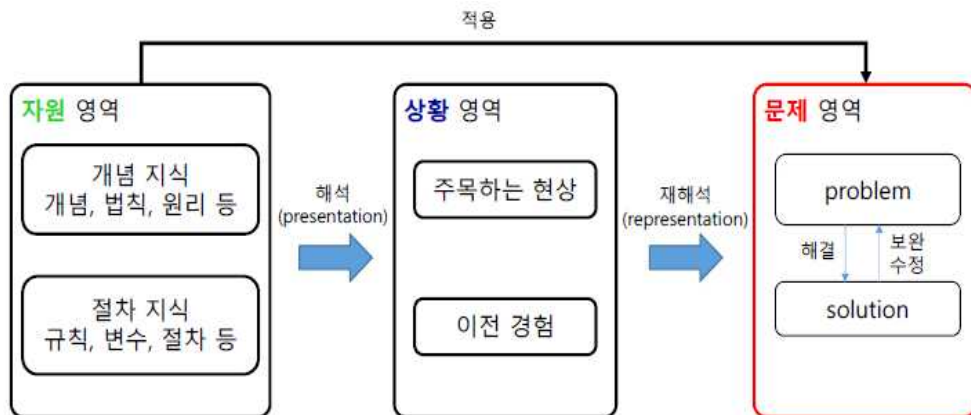


[그림 2-2] 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제 사이의 관계

이론적 배경을 통해서 살펴본 결과, 문제를 구조화하는 과정은 학습자들에게 일반적인 문제기반 학습이나 질문하기와는 다른 인지적 활동을 요구한다. 또한, 기존의 문제와 관련된 과학교육 관련 연구는 교수자 혹은 연구자 중심의 문제 풀이 과정을 탐색하는 연구가 주를 이루고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 학습자 중심의 문제 만들기 활동을 통한

학습자가 자신이 알고 있는 개념을 문제 상황에 적용하여 문제를 구조화하는 과정을 살펴보는 연구가 필요하다. 그러나 문제의 구조화와 관련되어서 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제 사이의 명확한 분류 기준이 존재하지 않고, 비교적 단일한 목적은 가진 잘 구조화된 역학문제라고 할지라도 문제 제작자의 역량에 따라서 언제든 확장된 비구조화된 문제로 발전할 수 있다.

따라서 문제 제작자가 자신이 알고 있는 자원의 범위 내에서 어떠한 문제 상황에 주목하여 어떻게 문제를 구조화하고 있는지를 살펴보기 위해서는 자원 영역, 상황 영역, 문제 영역을 역동적으로 살펴보는 과정이 필요하다. 본 연구의 이론적 논의를 바탕으로 문제 영역을 중심으로 한 상황 영역과 자원 영역 사이의 관계를 도식으로 나타내면 [그림 2-3]과 같다. 이후 본 연구에서 면담자들의 역학문제를 만드는 과정을 [그림 2-3]의 도식을 중심으로 살펴보고자 한다.



[그림 2-3] 상황, 문제, 자원 영역 사이의 관계

Ⅲ. 연구 방법

Ⅲ.1. 연구 대상

본 연구는 2018년 기준 서울시내 소재의 과학고등학교 1학년 재학생 중 학생과 학부모의 연구 참여 동의를 얻은 학생들을 대상으로 진행되었다. 연구 참여자들이 속한 과학고등학교는 수학·과학에 대한 흥미와 재능이 동일 연령의 학생들보다 높다고 예상되는 학생들로 앞으로 이공계 연구자로 성장 가능성이 큰 학생들이 재학 중인 학교이다. 따라서 연구 참여자들은 역학 관련 개념 및 원리에 대한 흥미 및 이해도가 높으며, 과학의 전 분야에 대한 흥미도 높다. 따라서 연구 참여자들은 2015개정 교육과정의 선택 중심 교육과정 중 ‘물리학Ⅱ’라는 교과목을 통해서 학습한 역학 개념과 원리를 바탕으로 자기 주도적으로 문제를 구조화할 수 있는 능력이 비교적 높을 것으로 예상된다.

연구자는 학기 초 연구자와 연구 참여자가 속한 해당 학교장에게 연구에 대한 전반적인 안내 한 후, 연구 허가를 받아 본 연구를 진행하였다. 연구자는 본인이 담당하는 ‘물리학Ⅱ’ 수업의 1차시(수업 안내)을 활용하여, 연구 참여자를 모집하였다. 모집한 결과, 총 145명 중 69명이 연구에 동의하였다. 이후 연구 참여자들이 작성한 ‘역학문제 만들기’ 일지를 분석하여, 4명의 심층면담 대상자를 선정하였다.

Ⅲ.2. 수업 구성

본 연구자가 연구 참여자를 대상으로 진행한 수업은 다음과 같다. 연구자가 진행한 ‘물리학Ⅱ’ 수업은 ‘2015 개정 교육과정(교육부, 2015)’의 ‘물리학Ⅰ, Ⅱ’ 교육과정에서 제시된 내용을 연구자가 재구성하여 진행하였다. 연구 참여자가 고등학교 1학년 학생인 점을 고려하여, 중학교에서 학습한 역학 개념을 바탕으로 ‘물리학Ⅰ,Ⅱ’을 통합하여 재구성하였으며, [표 2-6]와 비교하여 정리하면 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 차시별 역학 개념 및 분류

차시	교육과정상 핵심개념	중요 개념	영역
1	시공간과 운동, 힘 [물리학Ⅱ]	좌표계, 벡터(합성)	운동학, 동역학, 정역학
2	시공간과 운동 [물리학Ⅱ]	등가속도운동	운동학
3	시공간과 운동 [물리학Ⅱ]	[중력가속도 측정(실험)]	운동학
4	시공간과 운동 [물리학Ⅱ]	포물선운동, 등속원운동, 상대속도	운동학
5	힘[물리학Ⅰ, Ⅱ]	뉴턴 법칙, 마찰력(운동) 구심력[구심력 측정(실험)]	동역학 [병진-힘]
		자유물체도, 마찰력(정지)	정역학
6	힘[물리학Ⅰ, Ⅱ]	뉴턴 법칙, 운동방정식 자유물체도(운동), 관성력	동역학 [병진-힘]
7	역학적 에너지 [물리학Ⅰ]	일, 일-운동에너지 정리, 일률	동역학 [병진-에너지]
8	역학적 에너지 [물리학Ⅰ]	퍼텐셜 에너지(중력, 탄성력), 계, 역학적 에너지 보존	동역학 [병진-에너지]
	힘[물리학Ⅱ]	보존력, 퍼텐셜 에너지, 정적 안정성	정역학
9	힘[물리학Ⅰ]	[용수철 진자의 역학적 에너지(실험)] 질량중심, 선운동량, 선운동량 보존	동역학 [병진-운동량]
10	힘[물리학Ⅱ]	각위치, 각변위, 각속도, 각가속도, 회전 관성, 토크, 일-회전 운동에너지 정리	운동학 동역학 [회전-힘, 에너지]
11	힘[물리학Ⅱ]	굴림, 각운동량, 각운동량 보존	동역학 [회전-운동량]
12	힘[물리학Ⅱ]	정적 평형(안정성)	정역학

1차시의 좌표계와 벡터, 벡터의 합성 및 연산과 관련된 개념은 역학의 전반을 아우르는 수학적 방법과 관련된 내용으로 수업을 실시한 후, 본 연구의 전반적인 과정 및 ‘역학문제 만들기’일지 작성과 관련된 안내를 위한 차시로 활용되었다. 이후 2~8차시의 예비 조사에서는 먼저 등가속도 운동, 자유 낙하, 포물선 운동, 등속 원운동을 다루었다. 이러한 운동들의 시간에 따른 위치, 변위, 속도, 가속도를 수학적 관계식 및 그래프를 활용하여 물체의 운동을 설명·예측하는 방법에 대한 수업이 진행되었다. 이 과정에서 시간기록계를 이용한 중력가속도 측정 실험 및 실에 매단 물체를 이용한 구심가속도 측정 실험이 실시하였다. 이후 물체의 운동 상태를 변화시키는 원인인 ‘힘’과 관련하여 뉴턴의 운동법칙, 일, 일-운동에너지 정리, 보존력, 퍼텐셜 에너지와 관련된 역학 개념 및 원리에 대한 수업이 진행되었다. 전체적으로 예비 조사에서는 병진 운동에 대한 역학 개념 및 원리와 관련된 내용으로 물체의 형태가 무시되는 질점을 대상으로 역학 개념 및 원리와 관련된 수업으로 진행되었다. 이는 중학교 ‘과학’에서 제시되는 내용 요소인 등속 운동, 자유 낙하 운동, 중력, 마찰력, 탄성력, 부력, 중력에 의한 위치 에너지, 운동 에너지, 역학적 에너지의 보존과 유사하지만, 벡터의 연산과 미분, 적분을 이용하여 보다 심화된 역학 개념의 정의를 중심으로 수업을 구성하였다.

본 연구와 관련하여 진행된 9~12차시의 수업에서는 질량중심, 선운동량, 회전 변수, 등각가속도 운동, 회전 관성, 토크, 각운동량과 같은 역학 개념 및 이와 관련된 원리들이 제시되었다. 본 연구에서는 예비 조사와 다르게, 여러 입자들로 이루어진 입자계, 강체를 중심으로 회전 운동과 관련된 역학 개념 및 원리들이 제시되었다. 이는 연구 참여자들이 중학교 ‘과학’에서 접하지 못한 생소한 역학 개념 및 원리들로서, 연구 참여자들의 개념 이해 및 적용에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

Ⅲ.3. 자료 수집

본 연구에서 연구 참여자를 대상으로 ‘역학문제 만들기’일지와 ‘심층 면담’에 대한 두 종류의 자료를 수집하였다. 먼저 과학고등학교 학생들의 ‘역학문제 만들기’ 활동을 분석하기 위하여, 연구자는 본인이 담당하는 ‘물리학Ⅱ’ 수업(차시 당 100분)이 끝난 후, 연구 참여자들에게 ‘문제 만들기 활동’일지를 배부하였다. 연구 참여자는 배부 받은 ‘문제 만들기 활동’일지에 자신이 알고 있던 역학 개념 및 당일 배웠던 수업 내용을 바탕으로 자유롭게 문제를 만들고, 자신이 만든 문제에 대해서 평가를 한 후 수업 다음 날 제출하였다. 본 연구에서 연구 참여자가 작성한 ‘문제 만들기 활동’일지는 [부록 2]와 같이 구성되어 있다. 먼저 학습자들의 물리 혹은 역학 분야에 대한 흥미와 이해도를 5단계의 Likert 척도로 스스로 평가하도록 하였다. 이후 자신이 알고 있는 역학 개념과 경험을 바탕으로 역학문제를 만들고, 이에 대한 답을 작성하도록 하였다. 이와 함께 문제를 완성하기까지 걸린 시간, 문제에 적용된 역학 개념, 문제를 만드는 데 참고가 되었던 문제 상황과 생략하거나 추상화된 내용에 대해서 자유롭게 서술하도록 구성하였다. 이후 자신이 만든 문제의 완성도와 난이도에 대해서 5단계의 Likert 척도로 스스로 평가하도록 하였고, 이렇게 판단한 근거에 대해서 각각 자유롭게 서술하도록 구성하였다. 마지막으로 ‘문제 만들기 활동’이 자신의 물리 학습에 미친 영향에 대해서 자유롭게 서술하도록 구성하였다.

한편 ‘문제 만들기 활동’일지를 토대로 선정된 면담 대상자 4명에 대해서 문제의 구조화에서 자신만의 특징, 구조화 과정, 개념의 이해 및 적용 정도에 대하여 다음과 같은 문항을 중심으로 반 구조화된 심층 면담을 중심으로 질적 연구를 진행하였다. 과학교육 연구에서 질적 연구방

법을 이용한 학습자들의 개념변화를 기술하는 연구의 경우 10명 이내의 연구 참여자를 대상으로 한 사례가 많다. 과학고등학교 학생들의 문제해결과정을 탐색한 서진수 등 (2012)의 연구에서도 과학고등학교 학생 2명을 대상으로 문제해결과정을 심층적으로 탐색하였다. 또한, 문제의 발견과 관련한 여러 과학교육 관련 연구에서 질적 연구를 통한 심층면담이 이루어지는 경우 10명 이내의 연구 참여자를 대상으로 한 경우를 확인할 수 있다(류시경, 박종석, 2006; 한원, 강유진 & 김지나, 2013). 면담에 사용되었던 기준이 되었던 문항들은 [표 3-2]와 같다.

[표 3-2] 면담에 사용되었던 문항(예시)

범주	면담 문항
구조화의 특징	자신이 만든 문제의 장단점(혹은 부족한 점)이 있다면 무엇인가요?
	자신이 만든 문제가 다른 친구들의 문제와 차별화되는 점이 무엇이라고 생각하나요?
	자신이 만든 문제를 만드는 과정에서 주로 사용하는 방법이나 노하우가 있다면 설명해주세요.
구조화의 과정	문제를 만드는 과정에서 참고했던 학습경험이나 문제가 있었다면 설명해주세요.
	문제를 만드는 과정에서 수업 시간에 배운 역학 개념을 어떻게 활용하였는지 설명해주세요.
	문제를 만들는데 출발점이 되었던 자연 현상이나 관찰 경험이 있었나요? 이러한 내용을 자신의 문제로 어떻게 만들었는지(혹은 반영하였는지) 설명해주세요.
	자신이 만든 문제가 얼마나 잘 만들어졌다고(100점 만점에 몇 점) 생각하나요? 또한, 본인이 생각하기에 잘 만들어진 문제는 어떤 특징들을 갖추어야 한다고 생각하나요?
	[선택] 본인이 만든 문제에서 제(연구자)가 지시한 부분에 대해서 본인(연구 참여자)은 어떻게 생각하나요?
	만약 문제를 바꿀 수 있다면, 어떻게 바꾸고 싶은가요?
역학 개념의 이해 및 적용	이번 문제를 통해서 본인께서 알게 된 것, 혹은 변화 된 것들에 대해서 설명해주세요.
	문제를 만드는 과정에서 적용해보고 싶었으나 적용하기 어려웠던 역학 개념이 있었나요? 적용하기 어려웠던 이유를 설명해주세요.
	문제 만들기 활동이 자신의 과학 역학 및 이해도에 미친 영향을 설명해주세요.
	[선택] 문제 만들기의 전반적인 자신의 학습경험에 어떠한 영향을 미쳤다고 생각하나요?

[표 3-2]의 문항은 면담 대상자 및 면담 진행과정의 상황에 따라 약간의 변형이 있었지만, 전체적인 문항의 범주에서는 벗어나지 않았으며, 1인당 1시간 이내의 심층 면담을 최대 4회 이내로 진행하였다. 이 과정에서 면담의 내용은 모두 디지털 녹음기를 이용하여 녹취하였으며, 면담자는 자신이 만든 문제에 대해서 자신만의 문제 구조화의 특징, 구조화 과정, 역학 개념의 적용방법 등에 대해서 자유롭게 설명할 수 있도록 하였다.

III.4. 자료 분석

연구 참여자가 작성한 ‘역학문제 만들기’ 활동일지 중 5~7월에 작성한 4회에 걸친 역학문제 만들기 활동일지와 4명의 심층면담 내용을 분석의 대상으로 선정하여, 분석이 진행되었다.

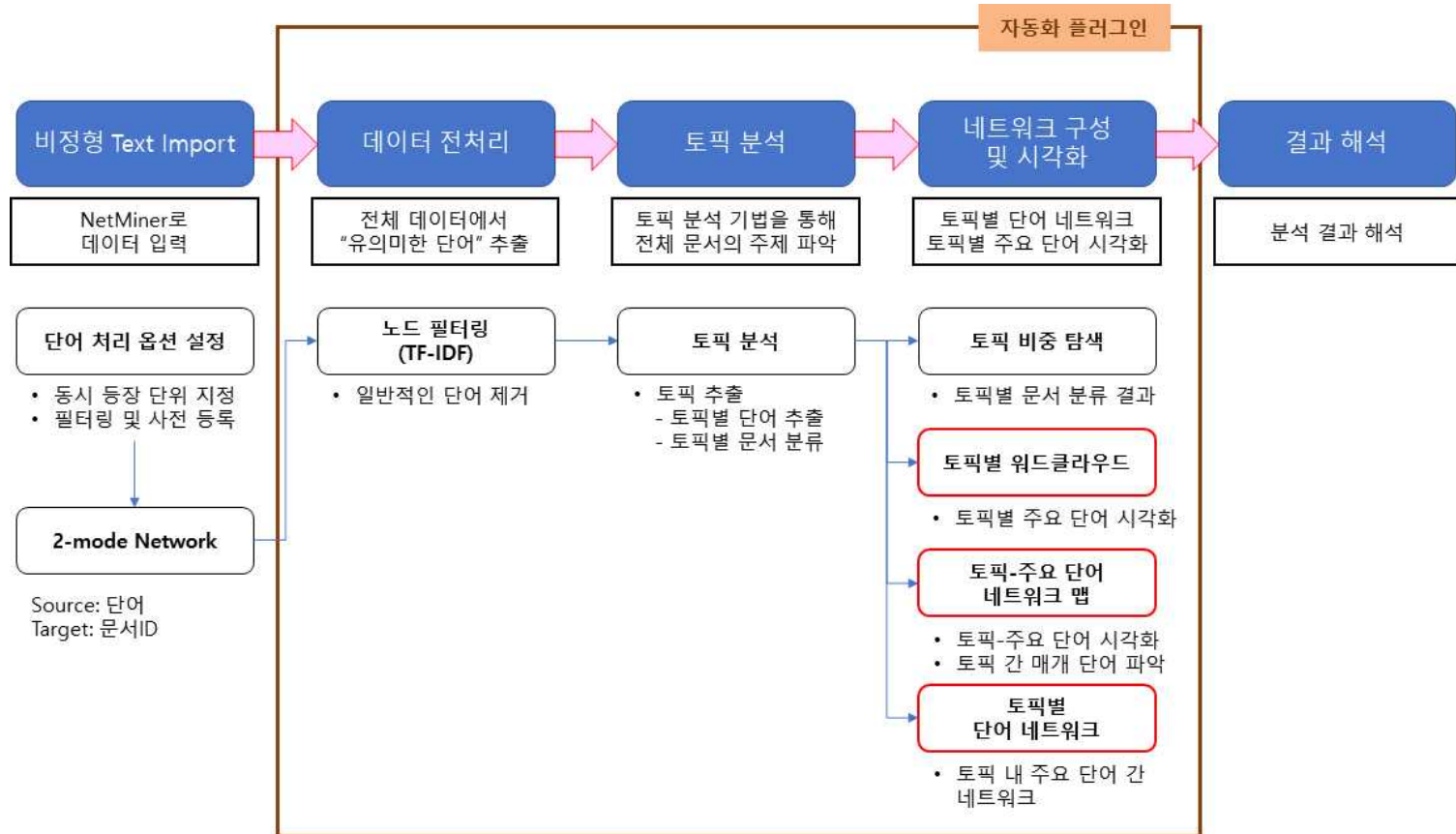
먼저 역학문제 만들기 활동일지에서 얻은 자료는 다음과 같은 과정을 거쳐 분석이 이루어졌다. 연구 참여자가 활동일지에 응답한 물리 혹은 역학 분야에 대한 흥미, 이해도 및 문제를 완성하는 데 걸린 시간, 자신이 만든 문제에 대한 완성도와 흥미도를 기술통계 분석을 위한 변인으로 선정하였다. 먼저 각 변인별로 통계적으로 유의한 차이가 나타나는지 살펴보기 위해 반복측정 분산분석(Repeat Measurement ANOVA)을 시행하였다. 단변량 분석에서 필요한 기본적인 가정은 종속변수의 분산이 구형이어야 한다는 점이다. Mauchly의 구형성 검정을 통해, 구형성이 나타나지 않은 경우, Greenhouse-Geisser 앱실런에 의해 자유도가 보정된 검정 결과 값을 사용하였다. 이후 역학문제 만들기와 관련하여 각 변인들 사이의 상관분석을 시행하였다. 상관분석 결과를 바탕으로 역학 전반에 대한 흥미도, 이해도를 독립변수로, 문제에 대한 완성도 및 난이도

(복잡도)는 종속변수로 설정하여, 각각의 독립변수와 종속변수에 대한 단일회귀분석을 시행하였다. 이후 흥미도와 이해도를 동시에 투입하여 완성도와 난이도에 대한 다중회귀분석을 시행하였다. 이 과정에서 모든 자료의 분석은 SPSS 23.0 프로그램을 이용하였다. 이후 연구 참여자들이 작성한 ‘역학문제 만들기’ 활동일지에 학생들이 만든 역학문제에서 등장하는 변인을 추출하여, 종류와 수를 중심으로 빈도 분석을 시행하였다. 또한, 변인을 제시하는 형태에 따라서 ‘문자’형, ‘숫자’형, ‘복합(문자 + 숫자)’형으로 분류하여, 각 유형에 따른 문제를 완성하는 데 걸린 시간, 학습자들이 스스로 평가한 완성도와 복잡도에 대한 빈도 분석을 시행하였다.

한편 역학문제 만들기 활동에서 연구 참여자들이 자유롭게 서술한 문항에 대해서는 다음과 같이 분석하였다. 문제 상황, 적용 개념, 단순화, 추상화된 내용, 문제의 완성도 및 복잡도(난이도)에 대한 판단 근거에 대해서 토픽 모델링(Topic Modeling)이라는 기법을 활용하여 텍스트 네트워크를 분석하였다. 먼저 연구 참여자들이 작성한 내용을 모두 엑셀을 이용하여 텍스트 데이터화 한 뒤, TF-IDF(term frequency-inverse document frequency) 값을 기준으로 한 노드 필터링을 통해 일반적인 단어를 제거하고, 토픽을 추출하였다. 이후 각 토픽별 단어 네트워크 및 토픽 내 주요 단어 간 네트워크를 구성하여, 연구 참여자들의 서술 문항에서 등장하는 단어들을 분석하였다. 토픽을 추출하는 과정에서는 기계 학습(machine learning)에 근거한 잠재적 디리클레 할당(latent dirichlet allocation, LDA)을 활용하였다. 이를 위한 적절한 토픽 수, 기계 학습 방법(markov chain monte carlo, MCMC)을 위한 하이퍼 파라미터(alpha, beta) 및 적절한 샘플링 수는 LDA관련 선행연구를 참고하여 결정하였다(Griffiths & Steyvers, 2004; Greene, O’Callaghan &

Cunningham, 2014; Chang, 2011). 본 연구의 모든 텍스트 네트워크 분석은 ‘Net-Miner 4(4.4.1.c version)’ 프로그램을 활용하였다. 토픽 모델링 기법을 활용한 텍스트 분석의 흐름은 [그림 3-1]과 같다.

이러한 분석 결과를 종합하여 연구 참여자들이 작성한 ‘역학문제 만들기’ 활동일지를 중심으로 한 과학고등학교 학생들의 역학 개념과 관련하여 구조화된 문제에서 드러나는 특징을 살펴보고자 하였다.



[그림 3-1] 텍스트 네트워크 분석의 개요

4명의 연구 참여자를 대상으로 한 심층 면담을 진행하기 전, 연구 참여자가 판단한 가장 완성도와 복잡도가 높은 문제와 일반적으로 가장 빈번하게 등장하는 역학문제의 유형을 선정하여 [그림 2-3]의 틀을 중심으로 과학고등학교 학생들의 역학문제에서 드러나는 문제 상황, 자원, 문제 영역 사이의 관계를 살펴보았다.

이러한 결과를 바탕으로, 과학고등학교 학생들의 역학 개념의 적용 및 문제의 구조화 과정을 보다 심층적으로 살펴보기 위한 면담자료를 전사한 내용을 다음과 같이 분류하였다. 먼저 면담과정에서 학생들이 언급하는 역학문제 구조화 요소들이 어떤 순서에 따라 연결되는지를 도식화한 뒤, 면담과정에서 드러나는 문제 상황, 자원, 문제 영역의 내용을 각각 ‘상황’, ‘자원’, ‘문제’로 분류하여 이들이 어떠한 연관이 있는지를 [그림 2-3]의 틀을 중심으로 도식화하였다. 또한, 문제 영역과 관련하여서는 [표 2-3]을 기준으로 문제, 문제의 구조화 과정, 문제 및 풀이에 대한 평가와 관련한 잘 구조화된 문제와 비구조화된 문제의 요소들이 면담 과정에서 언급되는 부분에서 추출하여, 연구 참여자들이 자신의 문제를 구조화하는 과정에서 어떤 부분을 주로 언급하는지에 대해 분석하였다. 이러한 분석의 전체적인 과정은 과학교육 전문가 2인의 검토를 통해 서로 상이한 부분에 대해서는 논의를 통해 의견을 종합하여 결론을 도출하였다.

이러한 분석 결과를 종합하여 연구 참여자들이 심층 면담을 통해서 드러낸 내용을 중심으로 과학고등학교 학생들의 역학 개념과 관련된 역학문제를 구조화하는 과정에서 어떠한 요인들이 영향을 주며, 이를 통해 드러난 역학문제의 특징은 어떠한지에 대해서 살펴보려고 하였다.

IV. 연구 결과

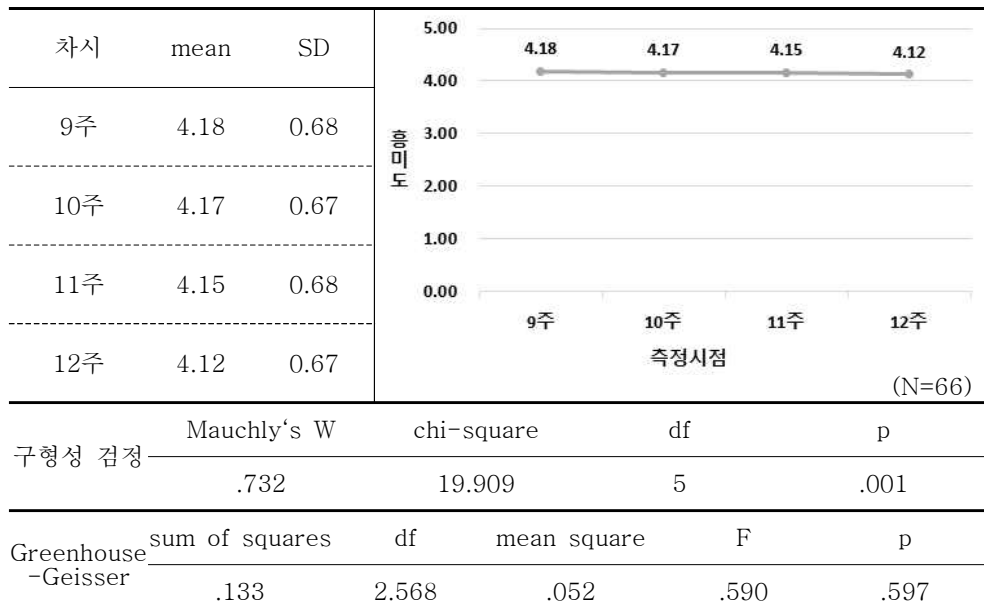
본 연구는 과학고등학교 학생들의 4주에 걸친 ‘역학문제 만들기 활동’을 하는 과정에서 드러나는 특징 및 구조화 과정을 분석하였다. 먼저 학습자가 스스로 판단하는 역학에 대한 흥미와 이해도를 기준으로 문제 만드는데 걸린 시간, 문제 유형, 완성도, 복잡도 사이의 상관관계를 탐색하였다. 이후 연구 참여자들이 작성한 역학문제를 중심으로 문제에서 드러난 물리량의 종류 및 개수, 제시 형태, 걸린 시간과 문제 제작자들이 스스로 판단하는 완성도와 복잡도 사이의 관계를 살펴보았다. 마지막으로 문제 상황, 적용 개념, 단순화, 추상화된 내용, 문제의 완성도 및 복잡도에 대한 판단 근거에 관해 연구 참여자들이 작성한 서술식 문항에 대한 텍스트 네트워크 분석을 시행하였다.

IV.1. 학생들의 역학문제에서 드러나는 특징

IV.1.1. 역학문제와 관련된 요인들 사이의 관계

9주에서 12주까지의 총 4회에 걸친 역학문제 만들기 활동에서 연구 참여자들의 정량적인 응답이 이루어진 흥미도, 이해도, 걸린 시간, 문제 제작자가 스스로 평가하는 자신의 문제에 대한 완성도와 복잡도에 대한 기술통계 분석 결과는 다음과 같다. 먼저 차시별 흥미도의 변화는 [표 4-1]과 같다.

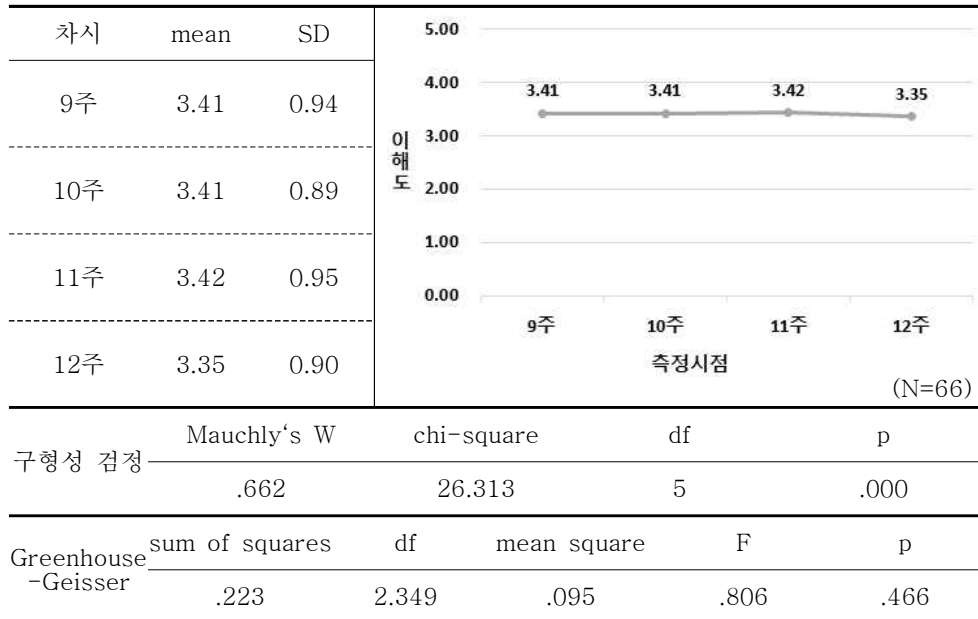
[표 4-1] 차시별 흥미도 변화



연구 참여자들의 흥미도가 9주차 평균 4.18점에서 12주차 평균 4.12점으로 0.06점 감소하였다. 그러나 반복측정 분산분석 결과 시간의 흐름에 따른 흥미도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=.597$). 즉, 본 연구에서도 예비 조사와 동일하게 차시별 연구 참여자들의 흥미도가 변화하지 않았고, 비교적 높은 값(4.12~4.18)을 유지하고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 역학문제 만들기 활동이 지속됨에 따라 학생들의 흥미도가 변화하지 않고, 비교적 높게 유지되고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 과학고등학교 학생들이 기본적으로 물리 혹은 역학분야에 대한 높은 흥미를 느끼고 있다고 할 수 있다.

둘째, 차시별 이해도의 변화는 [표 4-2]와 같다.

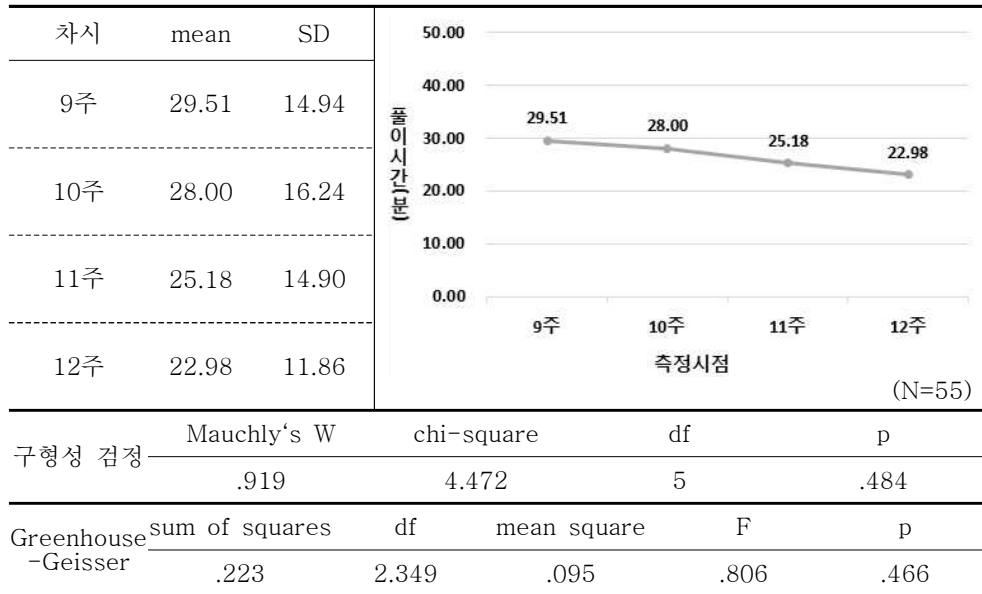
[표 4-2] 차시별 이해도 변화



연구 참여자들의 이해도는 9주차 평균 3.41점에서 12주차 평균 3.35점으로 0.06점 감소하였다. 그러나 반복측정 분산분석 결과 차시별 학생들의 이해도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=.466$). 즉, 본 연구에서 차시별 연구 참여자들의 이해도는 변화하지 않았다. 그러나 흥미도와 이해도의 차이는 0.73~0.77로 비교적 높음을 알 수 있었다. 즉, 연구 참여자들은 역학에 대한 흥미도는 높으나, 개념에 대한 이해도는 낮다고 스스로 판단함을 확인할 수 있었다. 이는 중학교 교육과정에서 등장하는 역학 개념과 비교하면 연구자가 진행하는 역학 관련 수업이 ‘2015개정 물리학Ⅱ’의 교육과정을 재구성하여 진행하는 과정에서 연구 참여자는 새롭게 제시된 역학 개념에 대한 이해의 어려움으로 인한 결과라고 예상해 볼 수 있다.

셋째, 차시별 문제를 만드는데 걸린 시간의 변화는 [표 4-3]과 같다.

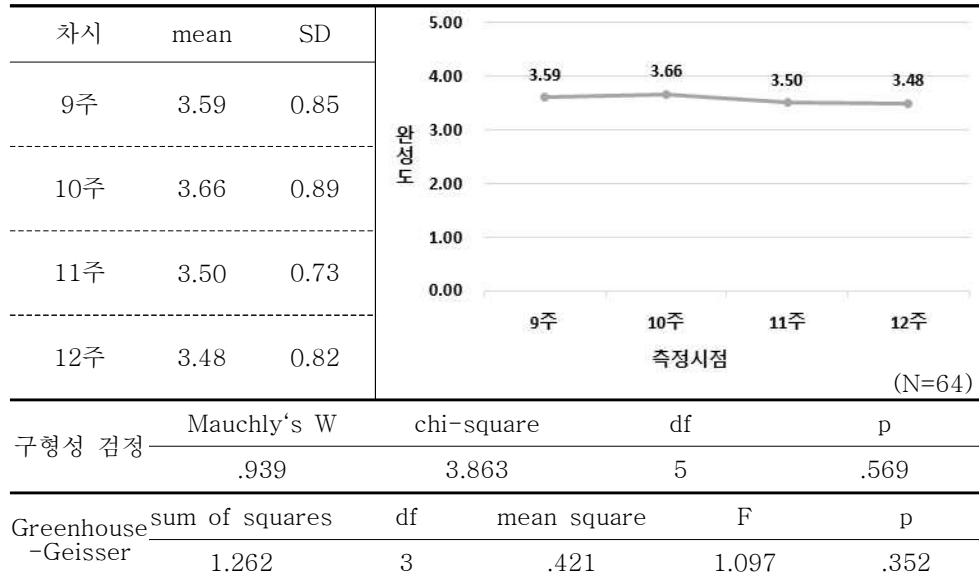
[표 4-3] 차시별 걸린 시간의 변화



연구 참여자들이 역학문제를 만드는데 걸린 시간은 9주차 평균 29.51분에서 12주차 평균 22.98분으로 8.53분 감소하였다. 반복측정 분산분석 결과 시간의 흐름에 따른 걸린 시간의 차이는 $p < .001$ 에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 연속적인 역학문제 만들기 활동이 진행되는 동안 학생들의 걸린 시간은 감소하였다. 이는 연구 참여자들이 역학문제를 만드는데 점차 익숙해지고 있다고 할 수 있다.

넷째, 차시별 연구 참여자들이 판단하는 자신의 문제에 대한 완성도의 차이를 분석한 결과는 [표 4-4]와 같다.

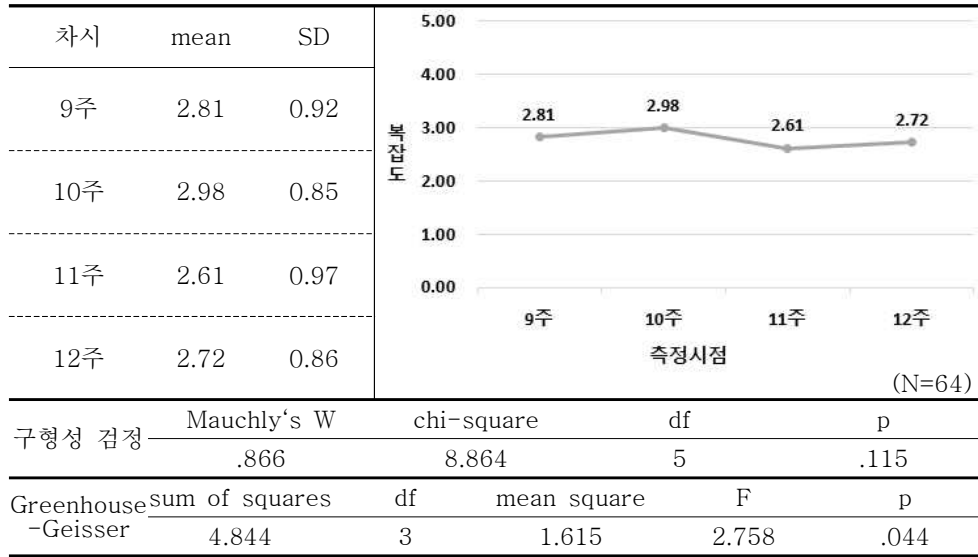
[표 4-4] 차시별 완성도의 변화



연구 참여자들이 판단하는 자신의 문제에 대한 완성도는 9주차 평균 3.59점에서 12주차 평균 3.48점으로 0.11점 감소하였다. 반복측정 분산 분석 결과 시간의 흐름에 따른 완성도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=.352$). 따라서 자신이 만든 문제를 스스로 판단했을 때, 비교적 높은 수준의 완성도를 일관되게 유지하는 것으로 보아 자신이 만든 문제에 대한 완성도를 높게 평가하고 있음을 확인할 수 있었다. 한편 물리 개념에 대한 이해도(3.35~3.42)에 비해서 자신이 만든 문제에 대한 완성도(3.48~3.66)는 비교적 높은 것으로 보아, 학습자들은 자신이 역학 개념에 대한 이해도가 낮더라도 최대한 완성도가 높은 문제를 완성하기 위해 노력하고 있음을 확인할 수 있다.

마지막으로 연구 참여자들이 판단하는 자신이 만든 문제에 대한 복잡도 차이의 분석결과는 [표 4-5]와 같다.

[표 4-5] 차시별 복잡도의 변화



연구 참여자들이 판단하는 자신이 만든 문제에 대한 복잡도는 9주차 평균 2.81점에서 12주차 평균 2.72점으로 0.09점 감소하였고, 10주차에서 최대 2.98점, 11주차에서 최소 2.61점이 관측되어 어느 정도 변화폭이 나타났다. 반복측정 분산분석 결과 차시별 연구 참여자들이 판단하는 자신이 만든 문제에 대한 복잡도의 차이는 $p < .05$ 에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 즉, 본 연구에서 시간이 흐름에 따라 학생들의 복잡도는 변화하였으며, 다른 변인들에 비해서 상대적으로 낮은 값을 확인할 수 있었다. 이는 역학 개념에 대한 이해도가 낮을수록 학습자들은 자신이 만든 문제가 쉽다고 판단하는 것을 확인할 수 있었다.

이후 역학문제 만들기와 관련된 흥미도, 이해도, 걸린 시간, 완성도, 복잡도 간의 상관관계를 살펴보기 위해 상관분석을 실시하였다. 각 변인의 대푯값으로는 평균값을 이용하였으며, 결과는 [표 4-6]과 같다.

[표 4-6] 변인들 사이의 상관분석 결과

차시	흥미도	이해도	걸린 시간	완성도	복잡도
흥미도	1				
이해도	.245*	1			
걸린 시간	.097	-.261*	1		
완성도	.241*	.433**	-.236	1	
복잡도	.078	.432**	-.066	.396**	1

**, $p < .01$, *, $p < .05$

분석 결과, 걸린 시간은 다른 모든 변인들과 유의미한 상관관계가 나타나지 않았다. 즉, 문제를 만드는 데 걸린 시간은 문제의 완성도와 복잡도에 큰 영향을 미치지 않았다. 오히려 이해도와 걸린 시간 사이에는 음(-)의 상관관계가 나타났는데, 이를 통해 연구 참여자들은 자신의 이해도가 높을수록 역학문제를 만드는데 보다 짧은 시간을 사용하는 것을 알 수 있다. 이는 난이도가 높은 문제일수록 문제 해결 과정에서 문제를 이해하고 풀이를 계획하는데 많은 시간이 필요하다는 연구(홍미영, 박운배, 1995)와는 다른 결과를 보였다. 이는 학습자가 문제를 풀이하는 과정과 문제를 만드는 과정에서 서로 다른 인지적 작용이 일어날 가능성이 있다고 할 수 있다. 흥미도는 이해도와 완성도 변인과 정(+)의 상관관계를 가지며, 이해도는 완성도와 복잡도에 있어서 유의미한 높은 정(+)의 상관관계를 보이는 것으로 드러났다. 이후 역학문제 만들기와 관련하여 흥미도, 이해도, 완성도, 복잡도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 흥미도와 이해도를 독립변인, 완성도와 복잡도를 종속변인으로 한 회귀분석을 시행하였다. 먼저 흥미도와 이해도를 각각 투입하는 단순 회귀분석을 실시한 결과는 [표 4-7]과 같다.

[표 4-7] 단일 변인에 따른 회귀분석 결과

흥미도(독립) 완성도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	2.447	.529		4.624	.000
흥미도	.256	.126	.241	2.029	.046
F	4.117(p<.05)				
R ²	.058				
이해도(독립) 완성도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	2.462	.275		8.939	.000
이해도	.312	.079	.433	3.935	.000
F	15.486(p<.001)				
R ²	.188				
흥미도(독립) 복잡도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	2.410	.514		4.689	.000
흥미도	.078	.122	.078	0.638	.526
F	.407(p=.526)				
R ²	.006				
이해도(독립) 복잡도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	1.747	.261		6.704	.000
이해도	.295	.075	.432	3.925	.000
F	15.403(p<.001)				
R ²	.187				

분석결과를 살펴보면, 흥미도는 완성도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta=.241$, $p<.05$). 또한, 이해도는 완성도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta=.433$, $p<.001$). 한편 흥미도와 복잡도에 대해서는 회귀모형이 유의하지 않아($F=.407$, $p=.526$), 흥미도가 복잡도를 예측하지 못하는 것으로 나타났다. 반면 이해도는 복잡도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta=.432$, $p<.001$).

흥미도와 이해도를 동시에 투입한 다중회귀분석의 결과는 [표 4-8]과 같다.

[표 4-8] 복수 변인에 따른 회귀분석 결과

흥미도, 이해도(독립) 완성도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	1.916	.512		3.744	.000
흥미도	.152	.120	.143	1.264	.211
이해도	.287	.081	.398	3.522	.001
F	8.610(p<.001)				
R ²	.207				
흥미도, 이해도(독립) 복잡도(종속)	비표준화 계수		표준화 계수	t	p
	B	SE	β		
(상수)	1.856	.490		3.790	.000
흥미도	-.030	.115	-.030	-0.264	.793
이해도	.300	.078	.440	3.843	.000
F	7.629(p<.01)				
R ²	.188				

분석결과를 살펴보면, 흥미도는 단독으로 투입되었을 때와 달리 완성도에 유의한 영향을 미치지 않았다(p=.211). 이해도는 단독으로 투입되었을 때와 마찬가지로 완성도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(β =.398, p<.01). 반면, 흥미도는 단독으로 투입되었을 때와 마찬가지로 복잡도에 유의한 영향을 미치지 않았다(p=.793). 이해도는 단독으로 투입되었을 때와 마찬가지로 복잡도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다(β =.440, p<.001).

마지막으로 단계별 회귀분석을 시행한 결과는 [표 4-9]와 같다.

[표 4-9] 흥미도와 완성도의 관계에서 이해도의 매개효과 검증

단계	독립변인	종속변인	비표준화 계수		표준화 계수	t	p	R ²	F
			B	SE	β				
1	흥미도	완성도	.256	.126	.241	2.029	.046	.058	4.117(p<.05)
2	흥미도	이해도	.362	.175	.245	2.072	.042	.060	4.291(p<.05)
3	흥미도	완성도	.152	.120	.143	1.264	.211	.207	8.610(p<.001)
	이해도		.287	.081	.398	3.522	.001		

분석결과를 살펴보면, 1단계에서 흥미도는 완성도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났고($\beta=.241$, $p<.05$), 2단계에서 흥미도는 이해도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며($\beta=.245$, $p<.05$), 3단계에서 흥미도는 완성도에 유의한 영향을 미치지 않았고($p=.211$), 이해도는 완성도에 대해 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다($\beta=.398$, $p<.01$). 즉, 단계별 회귀분석 결과에 따르면 사후 측정값에서 흥미도가 완성도에 미치는 영향을 이해도가 완전매개한다.

IV.1.2. 역학문제에 제시되는 물리량의 특징

반면, 연구 참여자들이 작성한 ‘역학문제 만들기’ 활동일지를 통해 만든 총 273문제에서 등장하는 물리량들을 중심으로 한 빈도분석 결과는 다음과 같다. 먼저 연구 참여자들이 역학문제를 만드는 과정에서 문제에서 제시되는 물리량의 종류에 대한 빈도는 [표 4-10]과 같다.

[표 4-10] 역학문제에서 제시되는 물리량의 종류

차시		9주	10주	11주	12주
범주	물리량	빈도	빈도	빈도	빈도
기본 측정	질량	47	53	42	43
	시간(주기)	11	3	16	13
	길이(높이, 반지름 등)	39	38	57	52
	각도	13	20	8	12
	부피, 넓이, 밀도	6	2	0	1
에너지	퍼텐셜에너지	2	0	0	0
	운동에너지	1	0	1	1
	역학적에너지	1	1	0	1
운동	속도(속력, 탈출속도)	33	47	19	17
	변위(위치)	9	1	2	1
	가속도	1	1	0	2
	각변위	0	0	5	5
	각속도	0	1	24	24
	각가속도	0	1	15	11
운동량	운동량	0	0	1	1
	질량분사율	1	3	2	0
	반발계수	1	3	2	0
	충격력	1	0	0	0
	충격량	1	1	0	0
	회전관성(관성모멘트)	0	0	11	17
힘	중력가속도	10	6	1	10
	마찰계수	7	2	3	5
	마찰력(저항력)	2	0	0	2
	용수철 상수	1	3	1	2
	돌림힘	0	0	1	0
기타	개수, 금액, 횟수 등	5	3	3	2

[표 4-10]에서 드러나듯이 연구 참여자들이 역학문제를 만드는 과정에서 주로 제시하는 물리량은 질량, 시간, 길이였다. Walker(2010)에 따르면, 역학에서 물체의 운동을 기술하기 위한 가장 기본적인 물리 차원은 길이, 시간, 질량 차원이며, 이러한 기본적인 물리 차원의 연산을 통해 속도, 힘, 에너지와 같은 이차적인 물리 차원이 정해진다고 하였다. 따라서 연구 참여자들은 역학의 기본적인 물리 차원들을 중심으로 역학문제를 만들고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 연구 참여자들은 역학문제를 만드는 과정에서 속도 및 각속도와 관련된 물리량들도 많이 제시하

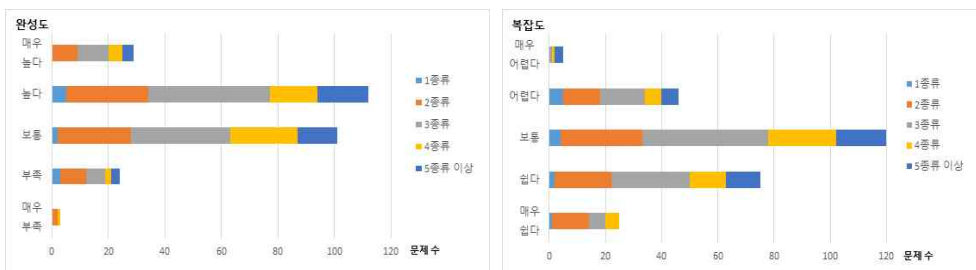
고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 10주차의 역학문제 만들기에서는 운동량과 관련하여 속도가 많이 제시되었고, 시간과 관련된 물리량의 제시 빈도는 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 연구 참여자들은 11, 12주차에는 병진 속도가 아닌 각속도를 중심으로 문제를 만들고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 각속도와 관련하여 원운동하는 물체의 반지름에 대한 제시가 급격하게 늘어나고 있는 것을 확인할 수 있었다. 한편 제시된 물리량들을 이용하여 연구 참여자들이 구조화한 문제에서 얻고자 하는 물리량들의 종류에 대한 빈도는 [표 4-11]과 같다.

[표 4-11] 역학문제에서 얻고자 하는 물리량의 종류

차시		9주	10주	11주	12주
범주	물리량	빈도	빈도	빈도	빈도
기본 측정	질량	0	5	0	3
	시간(주기)	0	1	4	4
	길이(높이, 반지름 등)	5	4	1	6
	각도	0	4	2	0
	부피	1	0	0	0
에너지	퍼텐셜에너지	1	0	0	0
	운동에너지	1	1	4	6
	역학적 에너지	4	2	3	2
운동	속도	12	11	7	7
	변위(위치)	2	0	1	0
	가속도	0	1	7	10
	각변위	0	0	5	6
	각속도	0	0	7	10
	각가속도	0	0	7	4
운동량	질량중심	11	3	0	1
	운동량	1	1	1	0
	반발계수	0	2	0	0
	충격력	8	0	1	0
	충격량	5	3	0	0
	회전관성(관성모멘트)	0	1	6	5
힘	알짜일(일률)	1	0	0	1
	힘(알짜힘, 장력 등)	3	1	1	1

[표 4-11]에서 드러나듯이, 연구 참여자들은 역학문제를 만드는 과정에서 속도를 주로 구하는 문제를 내는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 앞서 [표 4-10]에서는 역학에서의 기본 물리량을 제시하였으나, 역학문제를 통해 구하고자 하는 물리량은 계산을 통한 이차적인 물리량임을 알 수 있다. 한편 입자계를 중심으로 한 9주차의 운동에서는 다양한 형태 혹은 입자의 배치에 따른 질량중심의 위치를 구하는 문제를 주로 구조화하였으며, 이후 11, 12주차에는 회전 운동을 기술하는 물리량인 각변위, 각속도, 각가속도를 주로 역학문제로 구조화하였으며, 또한, 회전관성관련 문제도 많은 빈도로 구조화하였음을 알 수 있다. 이중 가속도와 관련하여서는 병진 운동이 아닌 회전 운동을 이용하여 주로 문제로 구조화하였는데, 이는 회전 운동의 가속도($a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2}$)가 접선 방향($a_t = r\alpha$)과 구심 방향($a_c = r\omega^2$)으로 각각 나누어진다는 점을 중심으로 역학문제를 구조화하는 것을 알 수 있었다.

한편 문제의 완성도와 복잡도에 따른 문제에 등장하는 물리량의 종류에 대한 분석 결과는 [그림 4-1]과 같다.

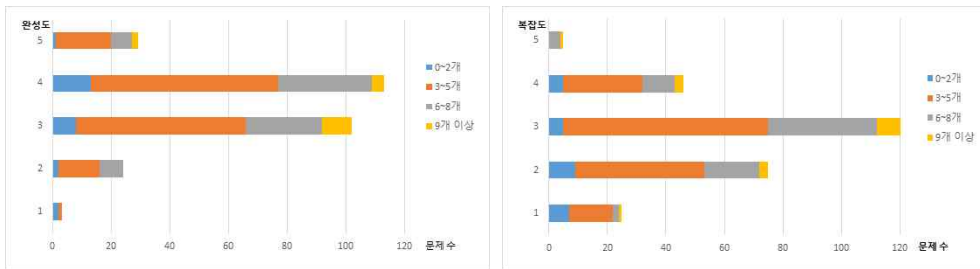


[그림 4-1] 완성도와 복잡도에 따른 물리량의 종류 분포

연구 참여자들은 자신이 만든 문제에 대해서 3점(보통, 101문제), 4점(높다, 112문제)으로 평균 이상의 완성도를 가지고 있다고 판단하였다. 또한, 역학문제를 만드는 과정에서 연구 참여자들은 주로 3종류의 물리

량을 사용하는 것을 알 수 있었다. 즉, 연구 참여자들은 역학문제를 만드는 과정에서 질량, 시간, 길이 차원의 기본 물리량을 중심으로 본인 스스로 평균 이상의 역학문제를 구조화하고 있다고 판단하고 있음을 알 수 있었다. 반면 복잡도에서는 2점(쉽다, 75문제), 3점(보통, 120문제)으로 완성도와 비교하면 자신이 만든 문제를 비교적 쉽다고 평가하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 복잡도 역시 3종류의 물리량을 중심으로 연구 참여자들은 역학문제를 만들고 있음을 알 수 있었다.

문제의 완성도와 복잡도에 따른 문제에 등장하는 물리량의 개수에 대한 분석 결과는 [그림 4-2]와 같다.



[그림 4-2] 완성도와 복잡도에 따른 물리량의 개수 분포

연구 참여자들이 작성한 문제의 분포는 앞서 물리량의 종류와 유사한 분포를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 3종류의 기본 물리량을 중심으로 3개의 물리량을 제시하면서 역학문제를 구성하고 있음을 확인할 수 있었다.

문제에 제시되는 물리량의 형태를 ‘숫자’, ‘문자’, ‘문자+숫자’형을 나누어 각각에 대한 연구 참여자들이 판단하는 완성도와 복잡도의 분포는 [그림 4-3]과 같다.



[그림 4-3] 물리량 제시 방법에 따른 완성도(왼쪽)와 복잡도(오른쪽)의 분포

연구 참여자들은 숫자와 문자를 모두 활용하는 문제보다는 숫자 혹은 문자를 중심으로 하여 일관된 방식으로 역학문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 연구 참여자들은 숫자로 물리량을 제시하는 역학문제 보다는 문자로 제시하는 역학문제에 대해서 완성도와 복잡도를 상대적으로 높게 평가하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 연구 참여자들은 숫자로 만든 문제보다는 문자를 이용한 역학문제를 보다 어렵고 잘구조화된 문제라고 판단하는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 연구 참여자들은 자신이 만든 문제에 대해서는 모두 풀이를 통한 답을 완성하였다. 반면 문제에는 언급되어 있지 않지만, 풀이를 통한 답을 작성하는 과정에서 등장하는 물리량으로는 중력가속도(20문제)가 가장 많았다. 그 외에 연구 참여자들은 질량, 용수철 상수, 마찰력 등을 몇몇 답에서만 사용하는 것을 확인할 수 있었다.

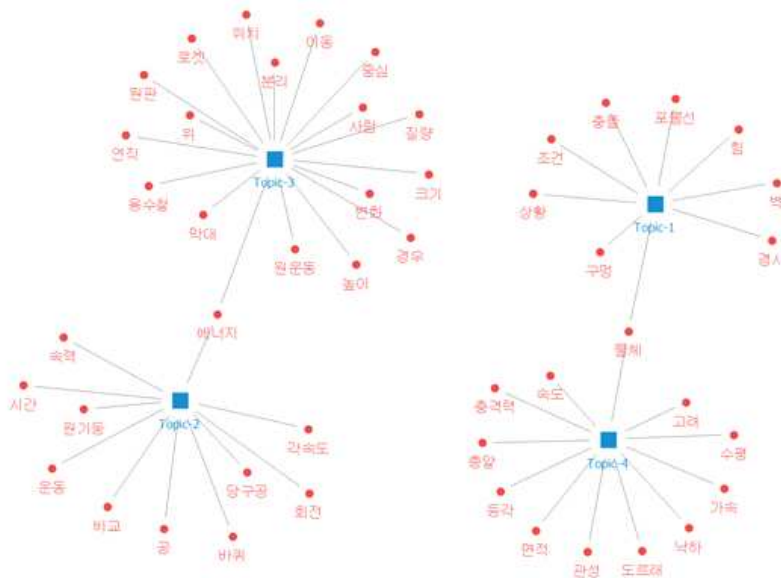
정리하면, 선운동량, 입자계, 회전 역학과 관련하여 연구 참여자들이 작성한 역학문제 만들기 일지에서 흥미도, 이해도, 완성도는 유의미한 차이가 없었고, 걸린 시간과 복잡도에서는 유의미한 차이가 발생하였다. 이후 상관분석에서는 걸린 시간을 제외한 모든 변인들 사이에 정(+)의 상관관계를 확인할 수 있었다. 이후 변인들의 사이의 단일 변인 간 회귀 분석 결과 흥미도-완성도, 이해도-완성도, 이해도-복잡도 사이에 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 복

수 변인 간 회귀분석 결과 이해도는 완성도와 복잡도에 정(+)의 영향을 미치지만, 흥미도는 완성도와 복잡도에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 단계별 회귀분석 결과, 흥미도와 완성도 사이에 이해도가 두 변인을 완전매개함을 확인할 수 있었다. 한편 연구 참여자들이 만든 역학문제를 중심으로 한 빈도 분석에서는 연구 참여자들은 역학문제를 만드는 과정에서 질량, 시간, 길이를 중심으로 하는 기본 차원의 물리량들을 주로 문제에서 제시하였으며, 답으로 구하고자 하는 물리량은 병진 운동에서의 속력과 질량중심, 회전 운동에서의 각속도, 각가속도와 같은 회전 변수들이 가장 많았다. 그리고 연구 참여자들은 자신들이 만든 역학문제의 완성도보다는 복잡도를 보다 낮게 판단하였으며, 기본 차원의 물리량을 1~2번 정도 언급하는 수준에서 역학문제를 구조화하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 문제에 제시하는 물리량은 숫자보다는 문자로 제시된 역학문제에 대해서 완성도와 복잡도를 보다 높게 평가하고 있음을 확인할 수 있었다.

IV.1.3. 역학문제와 관련된 연구 참여자들의 인식

연구 참여자들이 역학문제 만들기 과정에서 문제 상황, 적용 개념, 단순화, 추상화된 내용, 문제의 완성도 및 복잡도(난이도)에 대한 판단 근거에 대해서 작성한 서술식 문항의 분석 결과는 다음과 같다.

먼저 연구 참여자들이 만든 역학문제 상황에서 노드 필터링을 거친 후 추출된 단어들을 중심으로 구성한 워드 클라우드는 [그림 4-4]와 같이 나타났다. 예비 조사에서 등장했던 ‘물체’, ‘운동’이라는 단어 대신 ‘충돌’, ‘회전’과 같은 단어들이 새롭게 등장한 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-5] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(문제 상황)

토픽별로 보다 자세한 네트워크를 확인하기 위해서 토픽별 중심성 분석을 실시한 결과는 [그림 4-6]과 같다. 토픽 1에서는 ‘충돌’이라는 단어가 높은 연결중심성(Degree Centrality)²⁾을 가지고 선운동량과 관련된 개념들을 묶어주고 있으며, 토픽 2에서는 ‘회전’과 ‘운동’이라는 단어가 높은 연결중심성을 가지고 다른 회전역학관련 개념들을 묶어주고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 토픽 4에서는 ‘회전’이라는 단어가 가중치(0.0011)는 낮는데 비해서, 높은 연결중심성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 그 외에도 ‘물체’, ‘가속’과 같은 단어들은 상대적으로 높은 가중치와, 높은 연결중심성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

2) 연결중심성이란 한 연결(node)에 연결된 모든 점(edge)의 개수로 가중치(weight) 그래프인 경우, 가중치의 합으로 규모가 큰 네트워크인 경우에는 정규화하여 사용한다. 반면, 매개중심성(Betweenness Centrality)은 네트워크 내에서 한 노드가 담당하는 연결 정도를 노드들 간의 최단 경로를 가지고 산출한 척도이다. 예를 들어 노드 A, B를 연결하는 노드가 C로 유일한 경우, 노드 C는 높은 매개 중심성을 갖는다(Zafarani, Abbasi & Liu, 2014).

같은 단어들이 높은 빈도로 등장하는 것을 확인할 수 있었다. 이후 토픽 분석을 통해 추출한 4종류의 토픽과 이와 관련된 개념 및 언급된 문장의 수를 표로 정리하면 [표 4-13]과 같다.

[표 4-13] 적용 개념을 중심으로 추출한 토픽

	1st Keyword	2nd Keyword	3rd Keyword	4th Keyword	5th Keyword	언급된 문장 수
토픽 1	에너지	운동	보존	역학	위치	56
토픽 2	관계	가속	속도	토크	등각	64
토픽 3	운동량	보존	충격량	법칙	충돌	87
토픽 4	회전	관성	질량	중심	정리	63

토픽 추출 결과 워드 클라우드에서 높은 빈도로 등장하는 단어들 중심으로 유형화됨을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 한 토픽별 주요 단어들의 네트워크는 [그림 4-8]과 같다.

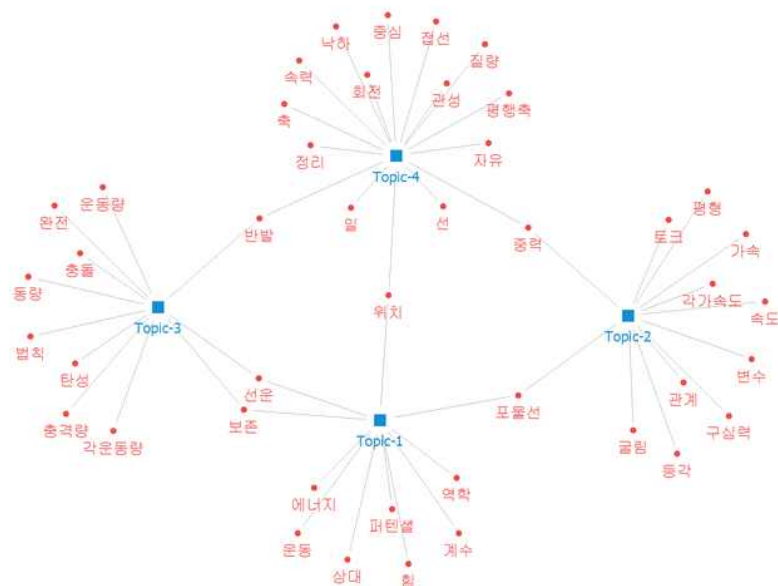


Figure 1 displays four network diagrams, each representing a different semantic network. The nodes are represented by red circles of varying sizes, and the connections are shown as lines. The diagrams are labeled as follows:

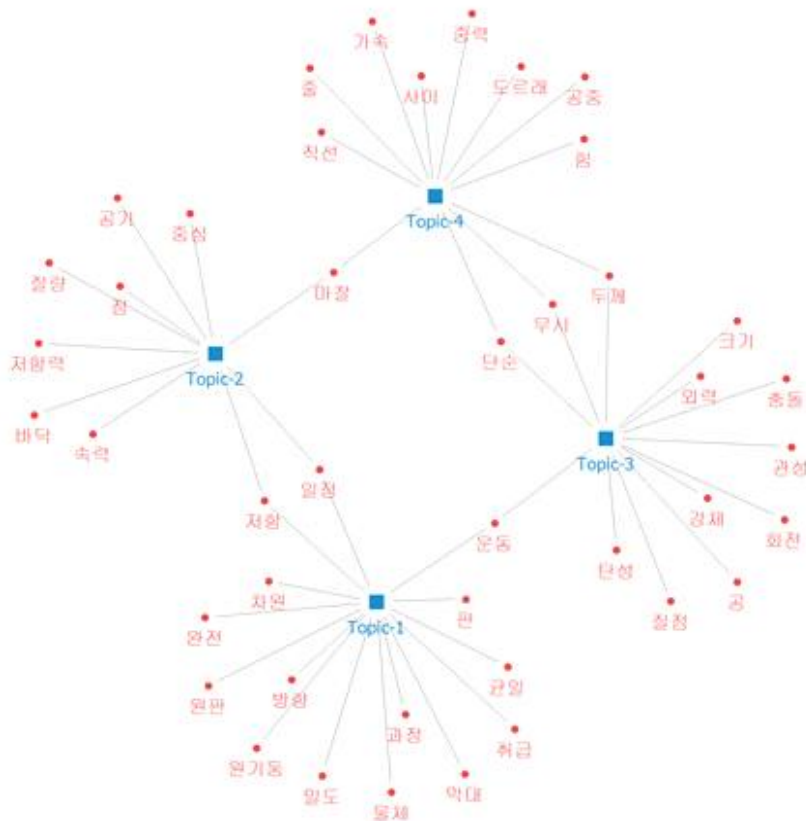
- [토픽1]**: A central node '보존' (Conservation) is connected to '에너지' (Energy), '운동량' (Momentum), '일' (Work), '속도' (Speed), '가속' (Acceleration), '회전' (Rotation), '관성' (Inertia), '질량' (Mass), '중심' (Center), '퍼텐셜' (Potential), and '열학' (Thermodynamics).
- [토픽2]**: A central node '가속' (Acceleration) is connected to '속도' (Speed), '운동량' (Momentum), '일' (Work), '에너지' (Energy), '회전' (Rotation), '관성' (Inertia), '질량' (Mass), '중심' (Center), '퍼텐셜' (Potential), '열학' (Thermodynamics), and '보존' (Conservation).
- [토픽3]**: A central node '운동량' (Momentum) is connected to '에너지' (Energy), '속도' (Speed), '가속' (Acceleration), '회전' (Rotation), '관성' (Inertia), '질량' (Mass), '중심' (Center), '퍼텐셜' (Potential), '열학' (Thermodynamics), and '보존' (Conservation).
- [토픽4]**: A central node '회전' (Rotation) is connected to '에너지' (Energy), '속도' (Speed), '가속' (Acceleration), '운동량' (Momentum), '일' (Work), '관성' (Inertia), '질량' (Mass), '중심' (Center), '퍼텐셜' (Potential), '열학' (Thermodynamics), and '보존' (Conservation).

분석 결과 토픽 1에서는 ‘운동’, ‘에너지’, ‘보존’ 등이 높은 연결중심성을 나타내었고, 토픽 2에서는 ‘속도’, ‘가속’ 등이 높은 연결중심성을 나타내고 있었다. 아울러 토픽 3에서는 ‘보존’이 높은 연결중심성을 보였고, 마지막 토픽 4에서는 ‘회전’을 중심으로 높은 연결중심성이 드러났다. 특히 토픽 3에서 구체적인 물리량이 아닌 ‘보존’을 중심으로 다른 개

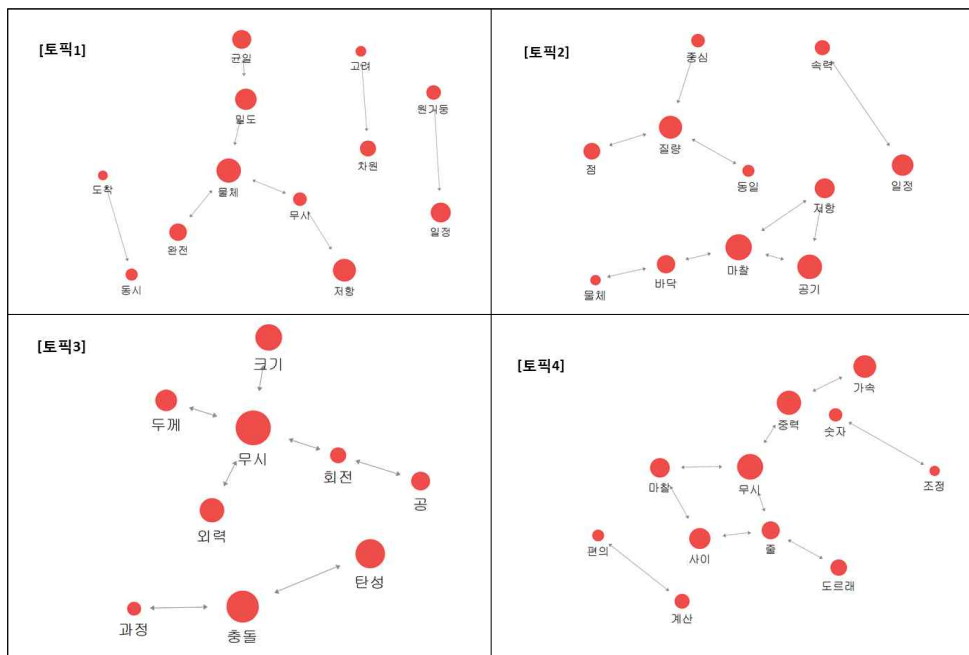
[표 4-14] 단순화, 추상화를 중심으로 추출한 토픽

	1st Keyword	2nd Keyword	3rd Keyword	4th Keyword	5th Keyword	언급된 문장 수
토픽 1	물체	저항	취급	밀도	막대	35
토픽 2	마찰	공기	질량	일정	저항	62
토픽 3	무시	충돌	탄성	크기	외력	39
토픽 4	무시	중력	가속	사이	마찰	31

워드 클라우드와 유사하게 토픽 추출을 통한 단순화, 추상화와 관련된 단어들은 예비 조사와 유사한 결과가 나타났다. 이후 토픽별 주요 단어들 사이의 네트워크를 분석한 결과는 [그림 4-11]과 같다.



앞선 예비 조사와의 차이점은 단순화, 추상화 과정에서 매개 단어로 ‘일정’, ‘두께’ 등이 등장하였다는 점이다. 이는 형태가 있는 물체에 대한 회전관성 등을 문제화하는 과정에서 이루어진 단순화, 추상화라고 예상된다. 이후 각 토픽 내에서 주요 단어들의 네트워크를 중심성 분석한 결과는 [그림 4-12]와 같다.



[그림 4-12] 토픽별 중요 단어 네트워크 (단순화, 추상화)

다른 요소들에 비해 연구 참여자들이 작성한 문장들이 상대적으로 적어서 토픽별 주요 단어 사이의 네트워크가 비교적 단순하게 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 토픽 3, 4에서 ‘무시’라는 단어와 다른 단어들이 연관되어 있음을 확인할 수 있었다.

네 번째로 연구 참여자가 자신이 만든 문제에 대한 완성도를 판단하는 근거에 대한 워드 클라우드는 [그림 4-13]과 같다.



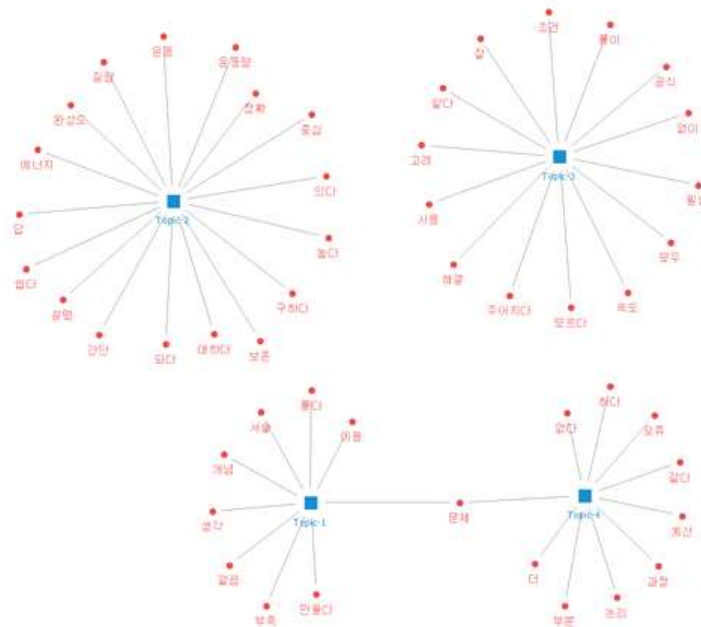
[그림 4-13] 완성도를 중심으로 한 워드 클라우드

분석 결과 단순화, 추상화 결과와 유사하게 완성도에 대하여 연구 참여자들이 기술한 문장 역시 예비 조사와 유사한 결과가 도출되었음을 확인할 수 있었다. 이후 토픽 분석을 통해 추출된 4 종류의 토픽과 연관된 단어들과 언급된 문장의 수는 [표 4-15]과 같다.

[표 4-15] 완성도를 중심으로 추출한 토픽

	1st Keyword	2nd Keyword	3rd Keyword	4th Keyword	5th Keyword	언급된 문장 수
토픽 1	문제	풀다	개념	만들다	생각	78
토픽 2	있다	구하다	완성도	간단	쉽다	88
토픽 3	풀이	잘	조건	필요	사용	72
토픽 4	없다	문제	같이	하다	계산	60

분석 결과 문제의 완성도를 판단하는 문장은 역학 개념을 중심으로 한 단어가 아닌 ‘문제’, ‘풀이’와 같은 단어를 중심으로 판단함을 확인할 수 있었다. 이후 각 토픽별 주요 단어들의 네트워크를 분석한 결과는 [그림 4-14]와 같았다.



[그림 4-14] 토픽과 주요 단어 사이의 네트워크(완성도)

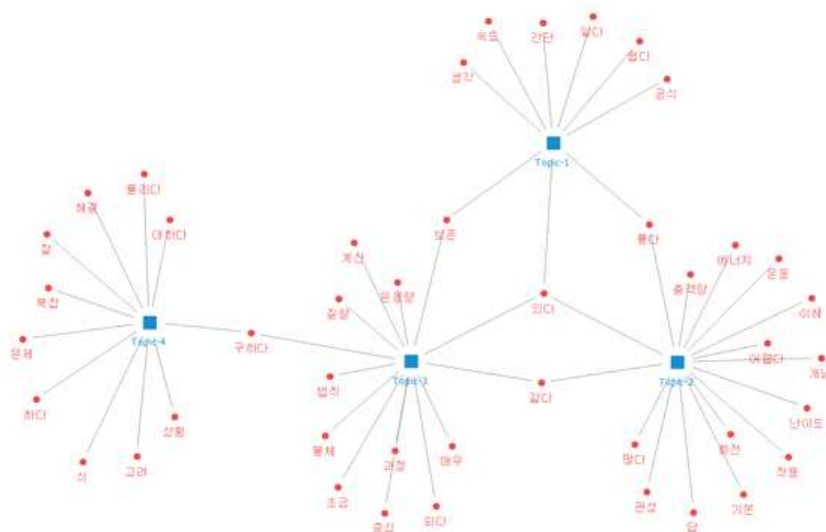
분석 결과 토픽 1, 4는 ‘문제’라는 단어를 매개로 연결되어 있으나, 다른 토픽 2, 3은 다른 토픽들과 연관관계가 없는 형태를 확인할 수 있었다. 좀 더 자세히 토픽별로 어떤 단어들이 연관관계를 가지는지 확인하기 위한 토픽별 중요 단어 네트워크를 통한 중심성 분석한 결과 토픽 1의 경우에는 ‘문제’라는 단어가 연결중심성이 가장 높았고, 토픽 2의 경우 ‘구하다.’, 토픽 3의 경우 ‘조건’등의 연결중심성이 높은 것으로 나타났다. 즉, 연구 참여자들은 자신이 만든 문제의 완성을 판단하는 과정에서 ‘문제’, ‘조건’ 등을 중심으로 판단하고 있음을 알 수 있다. 특이한 점은 토픽 4의 경우 부정적인 단어인 ‘없다’의 연결중심성이 높았는데, 문제나 풀이에서의 오류가 없음을 문제의 완성의 근거로 제시하였음을 알 수 있었다. 분석한 결과는 [그림 4-15]와 같다.

복잡도 역시 예비 조사와 유사하게 ‘풀다.’, ‘문제’등의 단어들이 주로 등장함을 확인할 수 있다. 또한, ‘어렵다.’라는 단어도 등장하는 것으로 보아 연구 참여자들은 복잡도와 난이도를 동일한 의미로 사용하고 있음을 확인할 수 있었다. 이후 토픽 분석을 통해 추출한 4종류의 토픽을 중심으로 한 연관 단어와 언급된 문장의 수는 [표 4-16]과 같다.

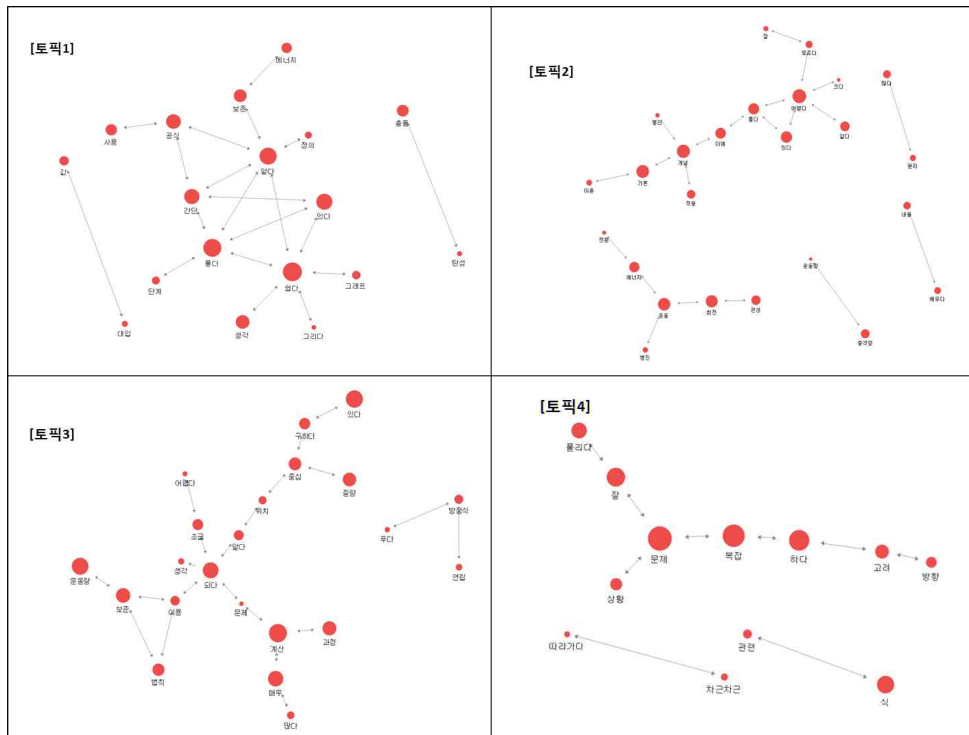
[표 4-16] 복잡도를 중심으로 추출한 토픽

	1st Keyword	2nd Keyword	3rd Keyword	4th Keyword	5th Keyword	언급된 문장 수
토픽 1	쉽다	풀다	알다	있다	간단	102
토픽 2	어렵다	개념	기본	운동	회전	84
토픽 3	계산	있다	운동량	되다	매우	61
토픽 4	문제	복잡	하다	잘	식	64

[표 4-16]에서 추출된 토픽을 중심으로 연관된 단어들의 네트워크를 분석한 결과는 [그림 4-17]과 같다.



분석 결과 토픽 1, 2, 3은 각각 ‘보존’, ‘같다.’, ‘풀다.’와 같은 단어들로 연결되어 있으며, 토픽 4는 토픽 3과 ‘구하다.’라는 단어로 연결되어 있음을 확인할 수 있었다. 다른 단어들은 동사가 주로 매개어가 되었지만, 토픽 1, 3을 연결하는 과정에서는 유일하게 역학 개념어인 ‘보존’이 등장하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 연구 참여자들은 문제의 완성을 평가하는 문장에서도 적용 개념과 동일하게 ‘보존’이라는 단어가 중요한 역할을 하고 있음을 유추해 볼 수 있다. 좀 더 자세히 토픽별 단어 사이의 연관관계를 분석한 결과는 [그림 4-18]과 같다.



[그림 4-18] 토픽별 중요 단어 네트워크 (복잡도)

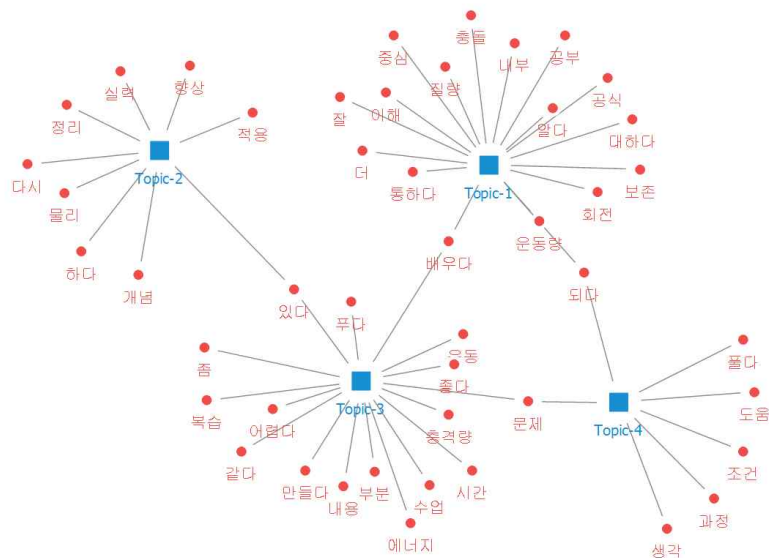
분석 결과 토픽 4에서는 연결중심성이 높은 단어가 등장하지 않았고, 토픽 1과 토픽 2은 전혀 반대 의미인 ‘쉽다.’, ‘어렵다.’가 연결중심성이

석을 통해 추출한 4종류의 토픽과 관련된 단어, 언급된 문장의 수는 [표 4-17]과 같다.

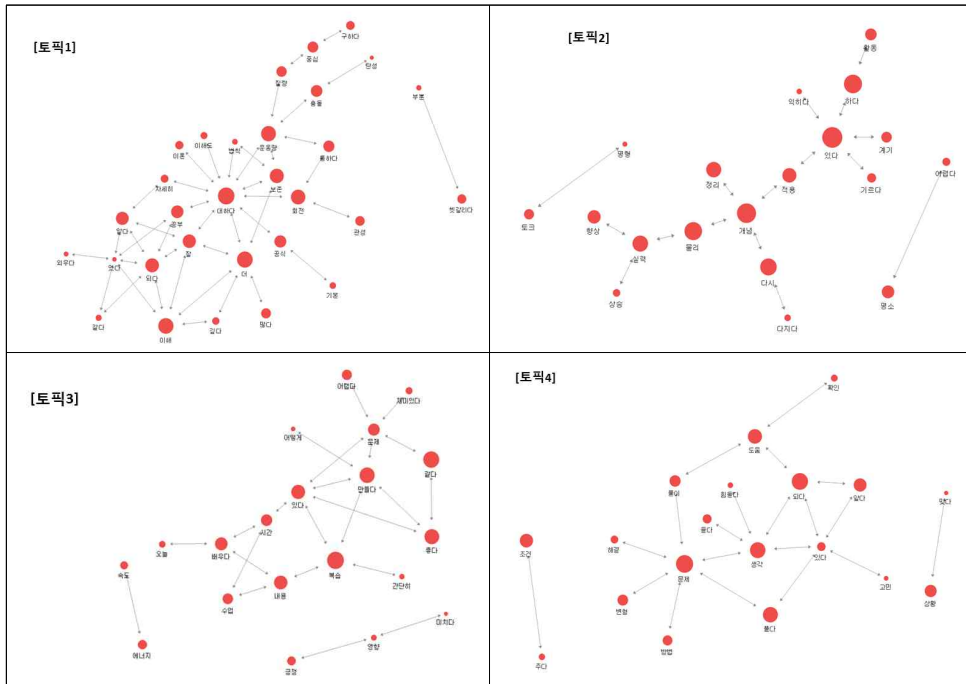
[표 4-17] 물리 학습을 중심으로 추출한 토픽

	1st Keyword	2nd Keyword	3rd Keyword	4th Keyword	5th Keyword	언급된 문장 수
토픽 1	대하다	더	이해	운동량	회전	83
토픽 2	있다	개념	하다	물리	다시	66
토픽 3	복습	같다	만들다	좋다	있다	69
토픽 4	문제	되다	생각	풀다	도움	51

분석 결과 토픽 1에서 ‘운동량’, ‘회전’, ‘이해’와 같은 단어를 중심으로 한 언급이 31%(83건)로 가장 많았고, 나머지 토픽들은 비슷한 분포로 추출되었음을 확인할 수 있었다. 각각의 토픽들이 관련 단어들과 어떠한 네트워크를 가지는지 분석한 결과, 토픽 1, 3, 4는 각각 ‘배우다.’, ‘문제’, ‘되다’로 매개됨을 확인할 수 있었다. 이에 관한 결과는 [그림 4-17]과 같다.



이후 각각의 토픽별 주요 단어들의 네트워크 분석을 통한 중심성을 확인한 결과는 [그림 4-21]과 같이 나타났다.



[그림 4-21] 토픽별 중요 단어 네트워크 (물리 학습)

분석 결과 언급된 문장 수가 많은 토픽 1에서 보다 다양한 연결관계를 확인할 수 있었다. 토픽 1에서 ‘대하다.’라는 단어의 연결중심성이 매우 높았으며, 그 외에도 ‘이해’, ‘되다.’ 등의 단어의 연결중심성이 높게 나타났다. 토픽 4의 경우 ‘문제’, ‘생각’ 등의 단어가 연결중심성이 높게 나타나는 것으로 보아 연구 참여자들은 문제를 통해 다양한 인지적 경험을 하고 있음을 예상해 볼 수 있다.

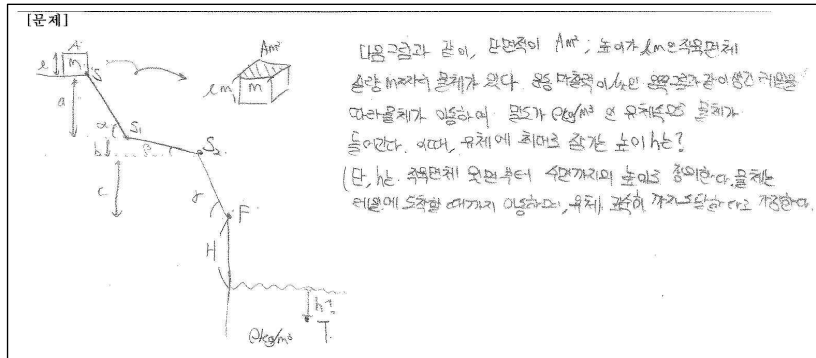
IV.2. 면담에서 나타난 역학문제 구조화의 특징

이 장에서는 연구 참여자인 과학고등학교 학생들의 역학문제 만들기 과정을 보다 심층적으로 살펴보고자 한다. 먼저 두 명의 역학문제 만들기에서 드러난 학생들의 역학 개념 적용 및 구조화 과정에서의 특징을 살펴보았다. 이를 바탕으로 역학 개념의 적용 및 구조화 과정을 보다 자세히 살펴보기 위하여 선정된 4명의 면담자에서 드러난 역학 개념의 적용 및 구조화의 특징을 분석하였다. 면담 결과, 역학문제 만들기 일지 상에서 드러나지 않았던 문제 상황, 자원, 문제 사이의 관계와 구조화 과정에 대해서 심층적으로 확인할 수 있었다.

IV.3.1. 역학문제 만들기의 사례 분석

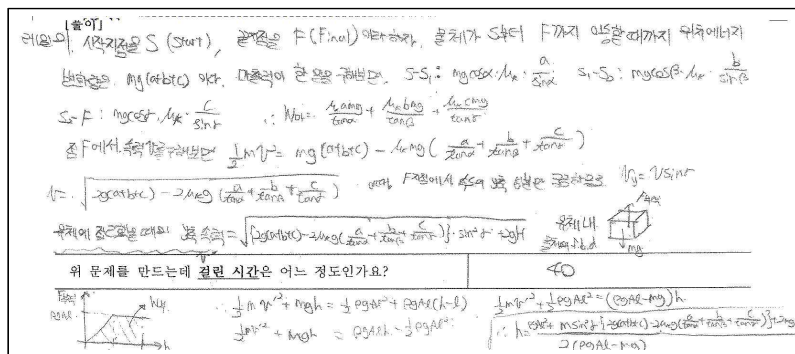
연구 참여자들이 작성한 역학문제 만들기 일지를 중심으로 S와 L의 역학 개념의 적용 및 문제의 구조화 과정을 분석한 결과는 다음과 같다.

S는 물리에 대한 흥미 및 성취도가 매우 높으며, 역학 개념에 대한 이해도가 매우 높은 학생이다. S는 자신이 만든 문제 중 가장 잘 만든 문제로 [그림 4-22]를 선정하였다. S는 이 문제를 만드는 과정에서 수영장에서 미끄럼틀을 타고 내려가 다이빙하던 경험을 바탕으로 역학문제를 만들었다. 이러한 역학문제를 만드는 과정에서 ‘내가 설계한 미끄럼틀을 타고 내려왔을 때, 몇 m까지 물속으로 내려갈 수 있을까?’에 대한 궁금증에서 이러한 문제 상황을 선택하였다고 서술하였다.



[그림 4-22] S가 선정한 가장 잘 만들었다고 생각하는 역학문제

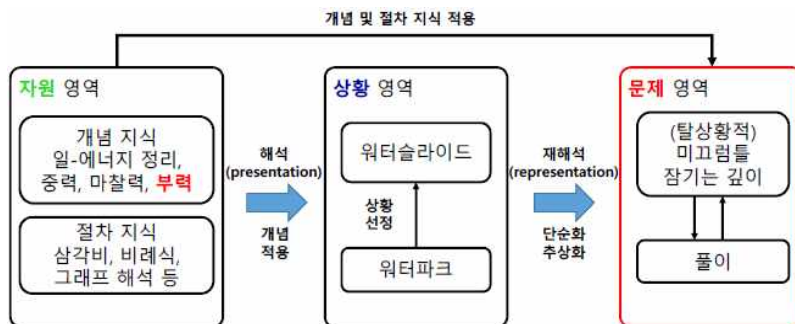
비보존적인 마찰력과 역학적 에너지 사이의 관계를 적용한 문제에서 S는 물체를 직육면체로 단순화하였다. 이는 이 물체가 유체 속에 잠겼을 때, 받는 부력을 고려하기 위해서 질점이 아닌 직육면체로 고려하여 ‘물리학 II’ 수업시간에 제시하지 않았던, 부력을 문제 상황에 적용하기 위한 의도임을 확인할 수 있었다. 한편 S는 자신이 선정한 문제에 대해서 [그림 4-23]과 같이 풀이하였다.



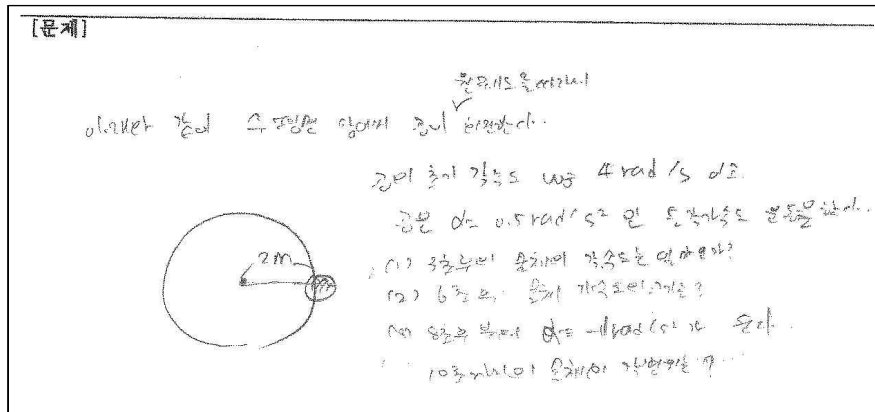
[그림 4-23] S가 선정한 문제에 대한 풀이

S의 문제와 풀이에서는 구체적인 숫자가 아닌 문자의 형태로 모든 변인들이 주어져 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 풀이 과정에서 삼각비, 비례식, 그래프 등 자신이 활용할 수 있는 모든 계산 능력을 활용하는

것을 확인할 수 있었다. S는 문제에서 구체적 수치가 아닌 문자의 형태로 만든 이유에 대해서, 풀이를 통해 얻은 높이에 대한 관계식을 적용하여 수영장을 만들 때, 이 공식을 활용할 수 있다고 하였다. 그러나 S가 만든 역학문제는 직육면체가 유체로 들어가는 과정에서 유체의 저항력에 의한 감쇠진동을 고려하지 않고, 일정한 비율로 부력이 증가하는 것만을 고려하여 풀었기 때문에 잘 구조화된 오류가 없는 문제라고 할 수 없다. 그러나 문제 제작자인 S는 자신이 처음 설계한 의도대로 물리적 오류가 없고, 풀이와 답도 잘 나왔기 때문에 문제와 풀이에 대해 완성도가 ‘매우 높다’로 평가하였으며, 문제의 복잡도 역시 ‘매우 어렵다’라고 평가하였다. 이처럼 학습자는 자신이 적용하고자 하는 역학 개념을 중심으로 일상생활의 경험을 문제로 하는 과정에서 풀이를 위해서 물체의 형태를 단순화하는 해석(presentation)의 과정을 거쳐 외부 현상과는 다른 문제 상황을 설정하고, 문제로 구조화하는 과정에서 물리량들을 정하는 재해석(representation)의 과정을 통해 문제 및 풀이를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 학습자가 판단하는 문제의 완성도와 복잡도는 전문가가 평가하는 완성도나 복잡도와 다를 수 있음을 확인할 수 있었다. S의 역학문제 만들기 과정에서 드러난 문제 영역, 상황 영역, 자원 영역 사이의 관계를 [그림 2-3]을 바탕으로 도식화하면 [그림 4-24]와 같다.

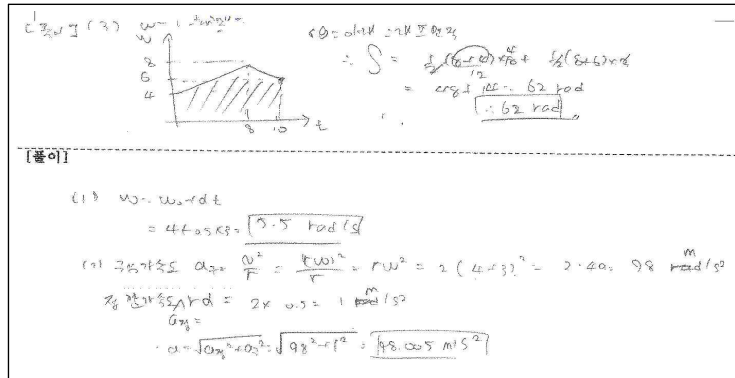


한편 L은 물리 및 역학 분야에 대한 흥미는 매우 높으나, 개념에 대한 이해도는 중간 정도인 학생으로 모든 역학문제를 만드는 과정에서 기존의 일반물리학 교재에 있는 문제를 참고하여 만드는 것을 확인할 수 있었다. L이 만든 전형적인 역학문제는 [그림 4-25]와 같다.



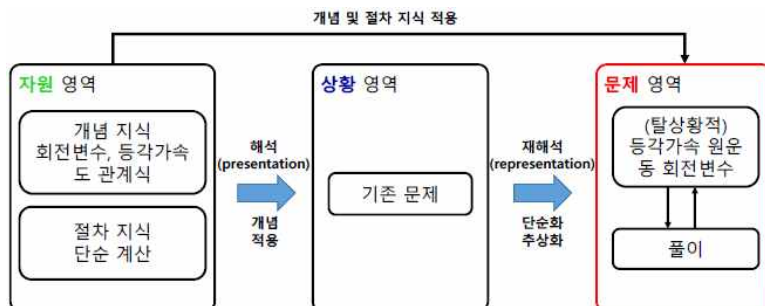
[그림 4-25] L이 만든 전형적인 역학문제

L은 각변위, 각속도, 각가속도와 같은 회전운동과 관련된 물리량을 중심으로 문제를 만드는 과정에서 개념을 어떤 상황에 적용하여 문제를 구조화하기 보다는, 탈상황적인 문제 상황으로 개념에 대한 이해를 확인하는 수준의 잘 구조화된 문제에서 구체적인 숫자를 적용하여 계산하는 문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 자신이 만든 문제에 대한 완성도는 ‘높다’라고 판단하였으며, 복잡도는 ‘보통’이라고 판단하였다. 이는 L이 생소한 회전운동과 관련된 역학 개념들을 접하는 과정에서 개념을 구체적인 문제 상황에 적용하기 어려운 경우, 우선 개념에 대한 이해를 위해 문제를 만드는 과정에서 자주 사용하는 문제 만들기 방법이라고 서술하였다. 한편 L은 자신이 선정한 문제에 대해서 [그림 4-26]과 같이 풀이하였다.



[그림 4-26] L이 선정한 문제에 대한 풀이

L이 작성한 풀이는 S의 풀이와 달리 수업 시간을 통해 제시된 각속도와 구심가속도에 대한 공식에 구체적인 숫자를 대입하여 간단한 계산을 통해서 해결할 수 있는 형태로 되어있음을 확인할 수 있었다. 따라서 학습자들은 개념에 대한 이해도가 낮아질수록 관련된 문제를 만드는 과정에서 구체적인 문제 상황보다는 탈상황적인 문제 상황을 통해 개념에 대한 이해를 확인하기 위하여, 복잡한 계산보다는 구체적인 숫자를 통해 절차적 지식에 대한 부담을 줄이는 방향을 문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. L의 역학문제 만들기 과정에서 드러난 문제 영역, 상황 영역, 자원 영역 사이의 관계를 [그림 2-3]을 바탕으로 도식화하면 [그림 4-27]과 같다.



S와 L의 역학문제 만들기 일지를 통해 드러난 과학고등학교 학생들의 역학 개념 적용 및 역학문제 구조화의 특징은 다음과 같다. 우선 S와 L 모두 문제를 만드는 출발점이 자원 영역의 개념 지식이라는 점은 동일하였다. 학습자의 경우 개념을 중심으로 그에 적합한 문제 상황을 선택하는 과정은 [표 2-8]의 과학 활동이나 과학적 탐구와는 다른 점이라고 할 수 있다. 과학 활동이나 과학적 탐구는 실제 세계를 바탕으로 한 현상의 관찰이나 기술에서 출발하여, 관련된 개념이나 원리를 적용하여 설명하는 반면, 역학문제 만들기는 문제를 만들고자 하는 개념을 먼저 선택한 뒤, 이에 적합한 문제 상황을 선정한다는 점에서 서로 반대 방향의 인지적 활동이라고 할 수 있다.

한편, 역학 개념에 대한 이해도가 높은 S는 자신의 일상 경험을 중심으로 구체적인 문제 상황을 바탕으로 복잡한 계산 능력과 여러 역학 개념을 아우르는 복잡하고 어려운 문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, S는 자신이 만든 역학문제에 대해서 [표 2-3]의 잘구조화된 문제에서 드러나는 잘 정의된 변인, 특징인 문제 상황의 단순화, 정확하고 수렴적인 답의 특징이 드러나고 있다고 판단하고 있었다. 그러나 연구자가 검토한 S의 문제 풀이 과정에서는 유체의 저항력을 고려하지 않는 등 비구조화된 문제의 특징인 개념이나 법칙들 사이의 불연속적인 관계를 확인할 수 있었다.

반면 역학 개념에 대한 이해도가 낮은 L은 개념을 중심으로 문제 상황에 대한 고려 없이 탈상황적 문제 상황을 중심으로 개념의 이해 및 확인을 위한 쉬운 문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 자원 영역에서도 개념 지식을 중심으로 계산 능력에 해당하는 절차적 지식에 대한 부담을 줄이는 방향으로 문제를 구조화하고 있음을 확인할 수 있었다. L이 만든 문제의 경우 기존의 잘 구조화된 문제를 중심으로 상황에 대한

고려 없이 역학 개념의 이해 및 확인을 중심으로 문제를 구조화하고 있음을 확인할 수 있었다.

그러나 이러한 역학문제 일지는 학습자들이 최종적으로 만든 문제와 풀이 과정을 보여주기 때문에, 문제 제작자인 학습자의 역학 개념의 적용 및 역학문제의 구조화 과정을 보다 심층적으로 살펴보기에는 한계가 존재한다. 학습자들이 처음에 의도했던 역학 개념이나 문제 상황이 어떠한 과정을 통해서 최종적인 문제로 구조화되었는지를 살펴보기 위해서 4명의 면담 대상자를 선정하여, 보다 심층적인 역학 개념의 적용과정 및 역학문제의 구조화 과정을 살펴보고자 한다.

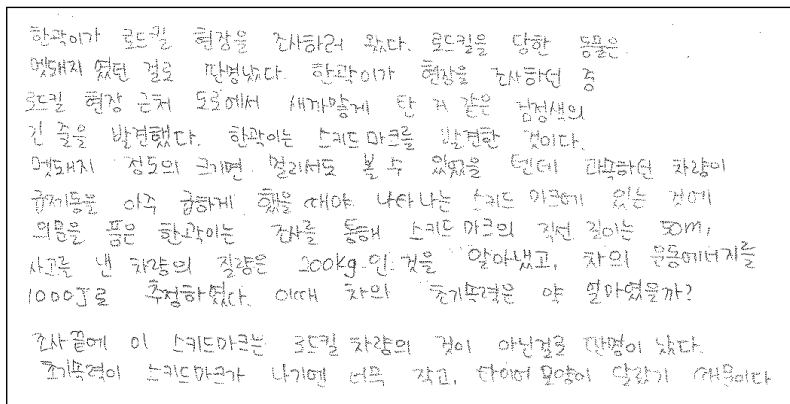
IV.3.2. P의 심층 면담사례 분석 결과

1) P가 만든 역학문제에서 드러나는 전반적인 특징

연구 참여자 P는 자신이 다른 친구들에 비해서 기존의 역학문제를 많이 접하지 않았기 때문에, 문제를 만드는 과정에서 기존의 문제를 참고하기보다 자신만의 스타일로 실생활에서 역학 개념으로 설명할 수 있는 상황을 중심으로 문제를 구조화하고 있음을 다음과 같이 설명하였다.

면담자: 일단은 어... 저는 이유가 좀 여러 가지인데... 첫 번째 같은 경우는 아까도 언급했지만 제가 아는 문제 유형이 다른 친구들에 비해 없어서... 그런 것이 있었기도 했고, 그다음에 뭔가 어... 물리를 처음 접할 때 개념 같은 것은 수업 시간에 이해된다고 하지만, 저한테는 아직 되게 어려운 과목이거든요. 다른 과학 관련 과목보다... 그리고 정말 어렵기도 하고, 그다음에 되게 이런 사소한 거에도 다 조건이 주어지고, 다 그런 시도를 한다는 게 어려웠었는데, 그래서 더 뭔가 실생활에 적용하려고 했던 것 같아요.

이처럼 P는 역학문제를 만드는 과정에서 주로 실생활을 중심으로 문제를 만들었고, 실생활을 제시하는 방식 역시 비교적 구체적으로 자세하게 기술하는 방식을 일관되게 유지하였다. [그림 4-28]은 P가 만들었던 전형적인 역학문제 중 하나이다.



[그림 4-28] P가 만든 전형적인 역학문제

한편 P가 역학문제를 만드는 과정에서 풀이를 완성하는데 걸리는 시간보다 문제로 만들 역학 개념과 문제 상황을 구조화하는 과정에 많은 시간이 필요하다고 하였다. P가 역학문제를 만드는 일반적인 과정에 대해서 다음과 같이 설명하였다.

면담자: 이게 솔직히 그냥 비율로 따지면 문제 만드는데 되게 훨씬 시간이 많이 걸리거든요. 제 경우는. (중략) 공식이나 개념을 하나 고른 다음에, 그것을 써먹을 수 있는 문제 상황을 생각해 보는... 보통은 그런 식으로 문제를 만들다 보니까 문제를 다 만들고 나면, 풀이 같은 경우는 전 이미 쓰고 싶은 공식을 이미 생각을 해봤으니까... 거기 이제 문제에서 설정해준 조건 그대로 대입을 하면 되기 때문에, 풀이 자체는 문제에 비해서 그렇게 오래 걸리진 않은 것 같아요.

또한, P는 자신이 만든 문제에 대한 완성도 평가를 전반적으로 부족하

다고 하였는데, 그 원인에 대해서 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 문제 풀이나 완성도에 비해서 그때 생각하기에는 굉장히 부족하다고 표시를 했거든? 그런데 그 이유로 얘기한 게... 문제 자체의 설명은 길고 상황했지만, 정작 문제 풀이에서 요구하는 개념이나 공식이 너무 간단하고 단순해서 부족하다고 생각했는데... 그러면 이 부족한 부분이 높아지기 위해서는 어떤 조건들이 더 들어갔으면 좋을 것 같아?

면담자: 음... 일단 이때 부족하다고 생각했던 게... 여기도 나와 있긴 했는데... 저는 그때는 이런 식으로 막 깨진 유리창의 법칙이라든지 이런 문제 상황을 설정할 때, 설정하는 제 스타일이 되게 뭐지? 별로 그리 좋지 않다고 생각했었던 것 같아요. 그런 공식이라든지 물리 개념을 거기에 좀 자세하거나 복잡한 그런 거를 적용을 하는 게 되게 좋은 문제라고 생각을 해서, 저 같은 경우는 이제 문제 상황 자체는 이제 상황해도 정작 거기에 적용하는 공식은 엄청 간단하거나 몇 가지가 없어서...

유사한 맥락에서 자신이 만든 역학문제의 복잡도를 판단하는 과정에서 전반적으로 쉽다고 판단하였는데, 그 이유에 대해서도 공통적으로 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 다음에 복잡도 부분에서는 막상... 그러니까 쭉 전체적으로 OO이가 자신의 문제를 평가할 때 보면, 마지막에 공통적으로 나오는 게 ‘수식이 간단하기 때문에, 난이도는 조금 쉽다.’라고 평가하거든? 그렇게 평가하는 이유가 있을까?

면담자: 이게 음... 어제 한 거랑 조금 비슷한데... 저는 아무래도 여기 문제를 풀 때, 써야 하는 공식이 한두 개? 정도밖에 안 되니까, 그런 것도 있었고, 저는 생각하기에 제 문제가 되기 쉽다고 생각하는데, 일단 기존의 학교 프린트라든지 다른 친구들이 학원 프린트? 같은 거 보면, 진짜 엄청 어렵고 복잡하고 문제 상황도 되게 여러 가지고... 조건 같은 거? 그것도 엄청 여러 가지고... 그렇더라고요. 그런데 저의 문제는 그런 게 아니니까... 그래서 항상 쉽다고 생각했던 것 같아요. 그리고 저 같은 경우에 이제 문제 만드는 입장이다 보니까 공식에 조건 같은 게 다 문제에 있으니까... 바로 대입을 하면 되는 거다 보니까...

연구자: 바로 공식에다 대입하는 될 거 같아서...?

면담자: 네. 그래서 되게 다 쉽다고….

연구자: 그래서 어떻게 보면 문제 만들 때 필요한 공식이나 개념들이 숫자가 적으니까…. 거기에다 바로 숫자를 바로 대입하고…. 그래서라도 문제의 오류나 모순은 없는 거 같다는 건가? 조금 간단하게 만들었기 때문에?

면담자: 그러고 싶었던 것 같아요. 최대한 오류가 없게….

그럼에도 P는 문제 상황을 설정할 때, 되도록 실생활에서 가능한 상황을 고려해서 문제로 구성하려는 경향을 확인할 수 있었다. 3주차의 역학 문제를 과정에서 문제 상황과 관련해서 P는 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 위로 던져 올리는 운동?

면담자: 예! 공으로 설명을 하잖아요. 그 문제집이라든지... 그래서 공이 올라갔다고 해서 그냥 단순하게 아! 그럼 그대로 생각을 해서 공이 이렇게 움직이는 상황을 생각을 해봤는데... 보통 그런? 구기경기가 있잖아요? 근데 거기서 이제 막연히 야구를 생각했던 것 같아요.

연구자: 야구로?

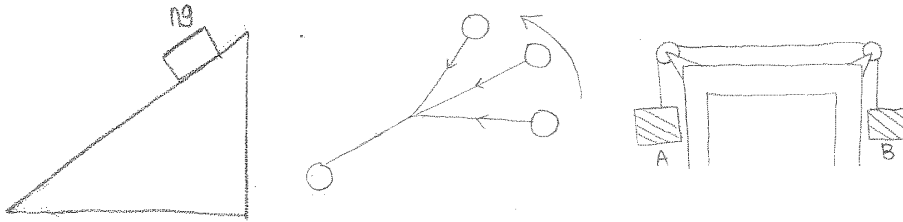
면담자: 네. 근데 이게 야구에서 이렇게 위로 올라가는 경우는 완전 연직으로 올라가는 경우는 별로 없잖아요. 그래서 일부러 ‘공이 배트에 잘못 맞았다.’ 이런 식으로 해서 그냥 최대한 뭐지? 말이 되게? 이 상황이 최대한 말이 되게 하려고 했던 것 같아요. 그리고 그래서 키 같은 경우도 일부러... 키를 왜 설정했냐 하면, 처음에는 그냥 보통 개념 같은 거 나와 있으면... 지표면에서 올라간다는지, 이런 식으로 딱 올라가는 그 기준점이 설정되어 있지 않자나요. 근데... 이걸 지금 경기하는 거니깐, 웬지 그걸 설정 안 하면 갑자기 땅바닥에서 갑자기 올라간다는 것은 말이 안 되잖아요. 그래서 사람이 있고, 그 사람이 치는 배트에 잘못 맞아 올라가는 거니깐... 사람의 키도 생각해야 할 것 같아서, 그래서 키를 설정했던 것 같아요.

P가 2주에서 12주에 걸친 11회의 역학문제 만들기 활동일지에서 작성한 내용을 정리하면 [표 4-18]과 같다.

[표 4-18] P가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용

주차	문제 상황	걸린시간(분)	완성도	복잡도
2	깨진 유리창의 법칙(일상생활)	60	2	1
3	야구 경기(일상생활)	60	1	2
4	투호 현장체험학습(일상생활)	70	2	1
5	빗면을 미끄러지는 물체(탈상황적)	70	1	1
6	실에 매달린 물체 돌리기(탈상황적)	60	1	1
7	로드킬 현장 조사(일상생활)	50	1	1
8	책상 양쪽의 도르래 운동(탈상황적)	40	2	2
9	권투 시합(일상생활)	50	1	1
10	새로운 조별경기(일상생활)	70	2	2
11	조별 야구관련 수행평가(일상생활)	60	2	1
12	최면술사의 시계(일상생활)	40	1	1

[표 4-18]에서 드러나듯이, P는 자신이 실생활에서 경험했던 현상들을 중심으로 문제 상황을 만들었으며, 이 과정에서 기존의 일반적인 역학문제에서 단순화되었던 것들을 다시 구체적으로 수치화하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었고, 실생활을 제시하는 과정에서도 단순한 정보의 제시가 아닌 인물과 줄거리가 있는 스토리텔링 형태로 문제를 제시하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, P는 역학문제를 완성하는데 걸린 평균 시간이 57.27분으로 전체 학생의 평균치(22.98분~29.51분)보다 훨씬 많은 시간을 사용하여 역학문제를 만들었으며, 그 시간의 대부분을 문제를 구성하는데 사용하는 것을 확인할 수 있었다. 그런데 5, 6, 8주차에서 P가 만든 역학문제에서는 문제 상황이 기존의 형태와는 다르게 [그림 4-29]와 같이 바뀌었음을 확인할 수 있었다.



[그림 4-29] 5주(왼쪽), 6주(중간), 8주(오른쪽)에 P가 제시한 문제 상황

이와 같은 역학문제들은 모두 문제 상황에 대한 자세한 설명보다는 되도록 그림으로 문제 상황을 간단히 제시하였으며, 또한, 문제에 필요한 변인들을 구체적인 숫자가 아닌 문자 형태로 제시한 것을 확인할 수 있었다. 이에 대해서 P는 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 지금까지 앞에서 했던 3문제는 구체적인 숫자를 넣으려고 했던 것 같은데…. 여기서부터는 n 그림 짜리라고 해서, 아예 문제에서 문자로 바꾼 것 같아? 그래서 문제 스타일이 조금 바뀐 것 같은데…. 혹시 왜 이렇게 했는지 설명해줄 수 있을까?

면담자: 음…. 이때 일단은 ‘아! 문자로 해야 하나?’라고 했었던 것 같아요. 이전에는 다 숫자로 했는데, 이때는 다른 친구들 푸는 문제를 봤는데, 대부분 다 문자로 되어 있는 경우를 봐서, ‘아! 그러면 문자로 해야지 되나? 해야 하는 건가?’ 하면서, 이때 그렇게 한 번 해봤던 것 같아요.

연구자: 저번에도 그렇고 면담하면서 얘기는 좀 더 구체적인 숫자가 들어가는 게 본인이 생각했을 때, 좀 더 잘 만들어진 문제라고 생각했다고 했는데…. 이렇게 만들어 보니까 느낌은 어때?

면담자: 솔직히 좀 더 편했던 것 같아요. 왜냐면 숫자를 안 쓰니깐 숫자를 다듬는 과정이라든지, 다시 또 대입해서 한 번 더 계산하는 과정이 없으니 까…. 그거는 그랬는데…. 이때는 뭔가 문제를 문자로 해야 하는 게 ‘좀 더 물리스럽다?’라고 생각했던 것 같아요.

연구자: 혹시 그 생각이 중간에 지나면서 바뀌거나 그러지는 않았나?

면담자: 근데 그렇게 처음에 생각했었는데…. 그 뒤로는 ‘꼭 그럴 필요는 없으려나?’ 하는 생각도 들고…. 이게 그 생각에 대해서 나중에 또 고민하지는 않았는데…. 여기 이렇게 물리 문제를 만들 때는 문자를 넣어서 하

거나…. 안 그래도 되겠지? 하는 생각을 했던 것 같아요. 나중에 중간고사 같은 데 보면 문자 많이 나오잖아요? 내신에서는…. 그런 것 보면 그런 생각은 드는데…. 그건 시험이고, 이건 그냥 물리문제 만드는 거니까…. 그냥 ‘내 맘대로 해도 되겠지?’ 이렇게?

연구자: 그랬을 때, OO이가 생각하는 잘 만들어진 문제는 그래도 문자보다는 숫자로 표현되는 게 더 잘 더 잘 만들어진…. 다듬어진 문제라고 생각한 건가?

면담자: 음…. 그게 좀 더 뭐지? 말이 된다고 해야 하나? 숫자로 하면 좀 더 구체적이잖아요?

연구자: 내가 문제를 이해할 때 문자보다는 숫자가 좀 더 쉬운가 보네?

면담자: 어…. 그럴 수도 있고, 일상생활 같은 곳에서 많이 활용하니까…. 숫자인 게 좀 더 현실성 있다고 해야 하나?

(중략)

면담자: 이때 뭔가…. 한 마디로 옳은 게 많아서…. 그래서 지금 보면 이때 제가 제일 마음에 안 들었던 게, 너무 일반적인 문제 같았다고 해야 하나?

연구자: 그냥 교과서에서 보는 문제 같았다고? 내 스타일의 문제가 아니었다고?

면담자: 네! 왜냐하면, 여기서 문제 상황은 그냥 뭐지? 중심이 되는 문제 상황은 물체가 빔면을 미끄러져 내려오는 상황이잖아요? 근데 여기서 제가 추가한 것은 OO이가 여기 서 있어서 받는다 정도? 이런 상황은 굳이 없어도 되는 문제 상황이잖아요? 이 문제한테 엄청 영향을 주는 상황이라든지…. 그런 게 아니라 그냥 옵션 같은 상황을 했으니까…. 제 생각에는 그 때 계속 고민하다가 시간이 없어가지고, 급히 그냥 해서, 그냥 좀 마음에 안 들었던 것 같아요.

P는 이러한 탈상황적 문제를 만드는 과정에서 주로 문자를 이용해서 되도록 편하게 만드는 전략을 취하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 이러한 문제에 관해서 일반적인 교과서에 등장하는 문제로 본인 스스로 만족하지 못하는 것을 확인할 수 있었고, 8주차의 문제는 다른 문제에서 문자만을 조금 변형한 형태이므로 완성도와 복잡도에서 다소 높은 점수를 줬지만, 여전히 본인 스스로 만족하지 못함을 확인할 수 있었다.

[표 4-18]에서 드러나듯이 P의 역학문제는 되도록 일상생활에 근거한

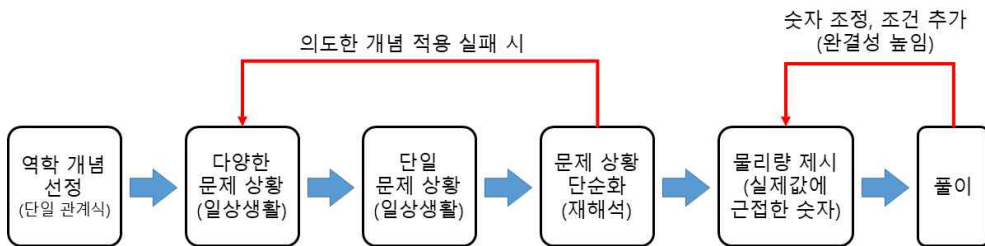
구체적인 숫자를 중심으로 한 문제를 선호하였으며, 5, 6, 7주차에 만들었던 문제는 중간고사 기간을 전후로 주변의 친구들이 푸는 문제를 참고하여 유사한 형태로 만들어 보려고 시도하였음을 확인할 수 있었다. 그 과정에서 문제의 구체적 서술보다는 그림을 중심으로 간략하게 문제를 제시하고, 아울러 숫자가 아닌 문자의 형태로 풀이 역시 쉽게 하는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 다시 자신만의 문제 유형으로 돌아오는 것을 확인할 수 있었다.

정리하면 P는 역학문제 만들기와 관련하여 자원영역 중 개념에 대한 전반적인 이해의 부족으로 인하여, 자신의 문제에 대한 복잡도를 낮게 평가하고 있었으며, 또한, 이러한 개념의 부족은 문제 상황에서 조건에 대한 불명확성으로 이어지면서 자신의 문제에 대한 완성도를 스스로 낮게 평가하는 것으로 확인할 수 있었다. 따라서 P는 [표 2-3]의 비구조화된 문제들이 가지는 특징을 나타냄을 확인할 수 있었고, 이는 역학 개념에 대한 이해의 부족에서 기인하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, P는 역학문제를 만드는 과정에서 일시적으로 탈상황적 문제 상황으로 문제를 만드는 경우가 있었으나, 전체적으로는 일상생활에 있을 법한 상황을 중심으로 스토리텔링형의 문제 상황을 선호하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 물리량을 제시하는 과정에서 실제 값이 근접한 수치를 제시하려고 하지만, 절차적 지식의 부족으로 되도록 계산이 편한 값으로 어렵하고 있음을 확인할 수 있었다.

2) P의 역학문제에서 드러나는 개념 적용 및 구조화 과정 분석

P는 자신이 문제를 만드는 과정에서 주로 사용하는 방법에 대해서 다음과 같은 순서를 따른다고 하였다. 먼저 수업시간에 배운 역학 개념을 복습하는 과정에서 이러한 개념의 적용이 가능한 문제 상황을 일상생활

에 근거하여 찾아낸 뒤, 이중 마음에 드는 상황을 고르고 다듬는 재해석의 과정을 거친다고 하였다. 이렇게 정리된 문제 상황에 역학 개념을 적용할 만한 부분을 고르고, 풀이에 쓰일 공식을 정한 다음, 문제 상황에 풀이에 필요한 수치를 제시한 뒤, 직접 풀어보면서 숫자를 조정하고, 추가적인 조건이 필요하면 더 제시하는 과정을 거쳐 역학문제를 완성한다고 하였다. P의 역학문제 만들기 과정을 순서대로 도식화하면 [그림 4-30]과 같다.



[그림 4-30] P의 역학문제 구조화 순서

[그림 4-30]과 같은 문제 구조화 과정을 가장 잘 드러낸 P의 역학문제는 ‘깨진 유리창의 법칙(2주차)’과 관련된 문제이다. P는 수업시간에 배운 ‘등가속도 직선운동’과 관련하여 일상생활의 여러 상황 중 사람이 물체를 일정 초속도로 던지는 상황을 역학문제로 만들기 위해서 선정하였다. 이 과정에서 P는 물건을 옆으로 던지는 상황을 먼저 가정하였으나, 이는 자신이 알고 있는 현재의 개념 지식의 수준에서는 해결하기 어렵다고 판단하여 문제 상황을 좀 더 단순화시켜 돌을 연직 아래로 떨어뜨리는 상황을 선정하였다고 하였다. P의 경우, 자신의 개념 지식범위 내에서 일상생활과 관련된 문제 상황을 재해석하여 역학문제로 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. P가 이러한 구조화 과정을 택하는 이유는 식을 이용하여 완성된 답을 만들기 위한 잘구조화된 문제를 만들기 위함인

라고 하였다. 이와 관련된 P의 면담내용은 다음과 같다.

면담자: 네. ‘옆으로 던져서 집 창문을 켜다.’라는 문제 상황을 만들려고 했는데, 그걸 만들려고 해서 찾아봤는데, 뭔가 제가 지금 하기에... 뭐라고 하지? 한 마디로 어려웠다고 해야 하나? 그러니깐 이게 아무래도 식이 제대로 나와서 제대로 답을 내고 싶었는데... 그렇게 하게 되면 일단 이때 제 수준에서는 뭔가 제대로 된 식이라든가 제대로 된 문제를 만들 수 없을 것 같아서? 뭔가 오류가 계속 날 것 같아서... 그렇게는 못했고, 그래서 약간 차선택으로 한 게 돌을 떨어뜨려서 이렇게 ‘수직 낙하로 해서 그래서 지붕 유리창을 켜다.’라고 문제 상황을 제가 할 수 있을 수준으로 바꿔서 했던 것 같아요.

연구자: 그러니깐 원래 의도는 옆으로 던져서 밑에 있는 물체를 맞추는 이런 형태인가?

면담자: 예. 약간 중간에 이렇게 포물선 그러서 요기를 맞추려고 했는데, 이거가 나중에 보니깐 되게 이때 제 수준에서는 조건이라든지 이런 게 헷갈렸다고 해야 하나? 어떤 식으로 식을 만들어야 할지 헷갈려서 이렇게 좀 더 제가 할 수 있게... 수준을 바꿨던 것 같아요.

P는 여러 문제 상황 중 ‘깨진 유리창의 법칙’을 선택한 이유로는 이전에 관련된 영상이 자신에게 너무 재미있게 느껴져서 여러 번 봤는데 이에 대한 기억을 바탕으로 ‘등가속도 운동’관련 관계식 중 $v^2 = 2gh$ 을 적용할 수 있는 형태로 역학문제를 구조화하는 것을 볼 수 있었다. 문제에서 변인을 제시하는 과정에서 P는 되도록 실제 값에 가까운 수치를 문제에 제시하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 문제를 푸는 과정에서 계산의 수고스러움을 줄이기 위해서 처음 제시했던 값을 이용하여 문제를 직접 해결하는 과정에서 처음 값의 근처에서 어렵하여 계산이 편리한 숫자로 조정하는 과정을 거치는 것을 볼 수 있었다. 그러나 P는 문제에 제시되는 수치들이 단순히 공식에서 필요한 일차원적인 값이므로 바로 대입하면 답을 얻을 수 있다는 점에서는 아쉬움을 나타내었는데, 역시 역학개념에 대한 이해도의 부족이 원인임을 확인할 수 있었다. 이와 관련된 P

의 면담내용은 다음과 같다.

면담자: 되게 아쉬웠다고 해야 하나? 그러니까 어... 저는 문제 만들 때 되게 하고 싶었는데 못했던 게... 되게 몇 번 있었어요. 그러니까 이거보다 좀 더 다른 문제 상황? 이라든지 좀 더 복잡한? 그런 아이디어라고 해야 하나? 그런 게 있었는데, 저는 아직 그런 거를 자연스럽게 만들 수준에 그런... 능력이 안 돼서... 그것보다 더 쉬운 거를 해야 하니까 되게 아쉬웠던 적이 있었던 것 같아요.

연구자: 그럼 이것도 어떻게 보면, 수평방향으로 던진 문제 상황을 생각하고 만들어 보고 싶었는데, 그 당시에는 그 부분이 조금 부족하니까 차선책을 선택하는 게 이렇게 떨어뜨리는 거였구나.

면담자: 언젠지는... 어느 개념인지는 솔직히 기억이 안 나는데... 제가 책을 보다가 그... 층 밀리기 현상인가?

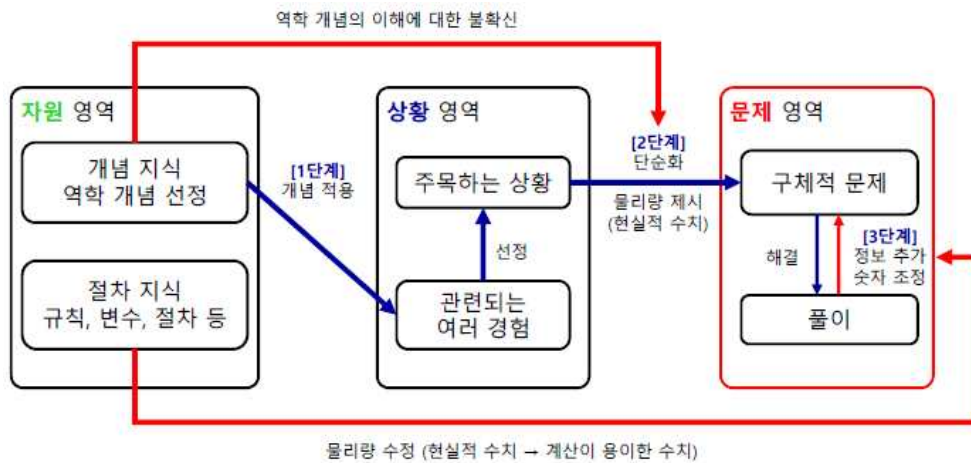
연구자: 층 밀리기? 층 밀기?

면담자: 아 네. 그 빌딩이 무너질 때, 이렇게 어느 정도 수준 넘어가면 쓰러진 다? 그런 거를 봤었는데... 그게 되게 좋아서 그걸 문제에 적용하고 싶었는데, 빌딩이 이렇게 무너질 때, 그런 한계점? 그게 보니까 식 자체가 저한테 어렵기도 하고, 그래서 못했고... 그런 식의 경우가 좀 있어서 뭔가 제가 다른 친구들처럼 이런 공식이나 개념을 더 잘 자유자재로 쓸 수 있었으면, 좀 더 뭔가 하고 싶은 문제를 만들 수 있었을 텐데... 그게 조금 아쉬웠던 것 같아요.

P는 마지막으로 조건을 추가하는 과정에서 ‘깨진 유리창의 법칙’과 관련된 인터넷 기사를 조사하여 문제의 앞부분에 자세히 기술하는 형태로 자신이 생각하는 문제의 완성도를 높이는 전략을 취하는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 P는 역학문제를 만드는 과정에서 앞선 S, L과 동일하게 문제에 적용하길 원하는 역학개념을 선정하는 것부터 시작하였다. 그러나 P는 문제 상황을 보다 실제상황에 가깝도록 구조화하려고 하며, 연관되어 문제에서 제시하는 물리량 역시 현실 상황에 가까운 실제 수치를 제시하려고 한다는 점에서 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 즉 P는 [표

2-3]에서의 잘구조화된 문제를 만들기 위해 실제 값에 근거한 변인 설정하기 위해 노력하고 있으나, 절차적인 지식의 부족으로 인해 계산이 쉬운 수치로 변형하여 문제에 제시하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 P의 구조화 과정을 [그림 2-3]에 근거하여 자원, 상황, 문제 영역을 중심으로 도식화하면 [그림 4-31]과 같다.



[그림 4-31] P의 역학문제 구조화 과정

P의 경우 3단계의 구조화 과정을 거쳐 자신의 역학문제를 만들고 있었다. 먼저 문제 상황을 선정하는 단계에서 자신이 이전에 경험했던 다양한 지식 중 역학문제로 만들기 위하여 정한 역학 개념을 중심으로 특정 문제 상황을 선정하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, P는 이 과정을 통해서 자신이 알고 있는 자원 영역의 개념 지식을 이용하여 역학문제로 만들기 위한 해석의 과정을 거치고 있다고 할 수 있다. 이후 주목한 상황을 문제로 구체화하는 과정에서, 자신이 설명하기 어려운 부분은 제거하는 단순화의 과정을 거치면서 되도록 현실적인 수치로 문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. 이 과정에서 자신의 역학 개념에 대한 이해의 불확신이 문제를 단순화시키는 과정에서 부정적 요인으로 작용하고

있음을 확인할 수 있었다. 이후 만들어진 문제를 해결하는 과정에서 자신이 제시한 현실적인 수치 근처에서 계산을 쉽게 하기 위한 물리량의 수정 및 추가 정보 등을 제시하는 형태로 문제를 보다 정교화시키는 것을 확인할 수 있었다.

P의 역학문제는 [표 2-3]에서 드러난 잘 정의된 초기 조건 및 알려진 최종 상태와 실제 값에 근거한 변인을 설정하며, 단일한 답과 정확하고 수렴적인 답이 존재하는 등 잘구조화된 문제의 요소가 포함되어 있음을 알 수 있다. 그러나 P는 자신의 만들어 보고자 하는 문제 상황에 비해서 상당히 낮은 수준의 역학문제를 만들고 있으며, 이는 자신의 역학 개념 지식 및 절차 지식의 부족에 기인하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 P의 경우 자원 영역인 개념 지식 및 절차 지식에 대한 충분한 이해가 뒷받침된다면, 현재 자신이 만든 문제를 바탕으로 보다 확장된 잘구조화된 문제로 발전될 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

3) P가 역학문제 만들기 활동을 통해서 경험한 인지적, 정서적 변화

P는 생체모방기술과 관련한 연구자가 되기를 바라는 학생이다. 또한, 물리를 비롯한 과학의 전반적인 분야에 관한 관심과 흥미가 높고, 다양한 동아리 활동 및 기본 지식에 대한 학습 동기가 매우 높은 학생이다. P가 12주까지 ‘역학문제 만들기’ 활동일지에서 표시한 역학에 대한 흥미도는 4점(흥미있다), 역학 개념에 대한 이해도는 1점(최하위권)으로 일관된 응답을 보였다. 따라서 물리에 대해서 흥미도 매우 높으나, 이전에 물리와 관련된 선행학습의 부족으로 물리에 대한 이해도가 떨어진다고 판단하고 있었다. 따라서 연구자가 진행하는 물리 수업 자체에 대해서도 이전 중학교 때 배운 내용 체계와 너무 큰 차이를 느끼고 있었고, 이로 인해 겪고 있는 어려움에 대해서 다음과 같이 설명하였다.

면담자: 저 근데.... 지금 와서 생각해보면, 중학교 때 과학은 되게.... 뭐라고 하지? 방법 자체가 다른? 중학교 때는 되게 음.... 생물 같은 경우는 진짜 암기였고, 물리 같은 경우는 이런 식으로 깊게 배운다기보다는 그냥 지식을 알려준다는... 그게 강해서 그냥 중학교 과학은 솔직히 어떤 개념 같은 게 딱 소개가 되었을 때, 그런 개념이나 공식 같은 거 연관성? 흐름이라든지 아니면 ‘조금 어려운 개념이 있다.’ 그러면 거기 관련된 개념이라든지 정보를 조금 정리하고 봐도 그.... 문제는 그렇게 해도 충분할 정도로 문제가 되게 간단? 그래서 오히려 편찮았는데.... 여기 고등학교 와서 배운 물리는 단순히 뭔가 이해를 한다고 해서 되는 게 아닌 거 같아서...

연구자: 그럼 혹시 솔직하게 물리 수업할 때 어느 정도 이해가 되는지?

면담자: 그런데 예를 들어 어.... 증명? 증명해 주실 때는 솔직히 저는 수학도 아직 적분이나 이런 거 몰라서 그런 거는 이해를 한다기보다는 일단 적는 느낌인데, 그게 아니라 그냥 선생님이 개념 같은 거 설명해주실 때는 그게 수업할 때는 되게 이해가 하나도 안 되거나 그렇진 않은 거 같아요. ‘아~ 그렇구나.’ 이런 식으로 이해가 안 되는 것은 아닌데, 어.... 제 생각에는 그거를 저는 그.... 개념이라든지 공식을 외우고, 그다음에 그 문제를 많이 풀어봐서 문제를 푸는 노하우? 라든지 그런 거 있잖아요? 테크닉? 그런 거라든지 그런 연습이라든지... 그런 습관이 아직 안 돼서... 물리가 성적이 많이 안 좋은 것 같아요.

이러한 P는 역학문제 만들기 활동을 통해서 다음과 같은 인지적·정서적 변화를 경험하였다. 먼저 자신이 만든 문제 중에 가장 잘 만든 문제로 뽑은 것은 10주차의 충돌을 이용한 새로운 조별경기와 관련된 문제였다. 이 문제를 선정한 이유로 P는 일상생활에 근거하여 문제를 만드는 과정에서 고려해야 할 변인들이 많은 데 비해서, 10주차의 문제는 게임의 규칙을 모두 임의로 정할 수 있다는 점에서 좀 더 편하게 역학문제를 만들 수 있었고 문제는 만드는 과정에서 즐거움을 경험하였다고 하였다. 이에 대한 P의 면담내용은 다음과 같다.

면담자: 음.... 일단 되게 뭐라고 하지? 문제가 길어서도 약간 그랬던 것 같아

요. 길어서 그런 것도 있었고, 아무래도 그냥 다 제 생각을 한 거니까, 게임 방식 같은 거...

연구자: 처음부터 끝까지 내가 설계했던 문제니까?

면담자: 그래서 조금 편했던 것도 있어요. 왜냐면 다른..., 예를 들어 스키드마크 같은 것들은 이미 나와 있던 개념이니까..., 그런 최소 속력 그런 것처럼 그런 고려 해야 하는 점이 있잖아요. 이건 그냥 제가 만드는 게임 이니까...

연구자: 오히려 제한조건이나 이런 것이... 덜 한 거네?

면담자: 제가 만든 거니까..., 그래서 그런 것도 있었고, 만들면서 그냥 되게 재미있었던 것 같아요.

또한, P는 역학문제 만들기 활동을 통해서 역학 개념에 대해 복습을 하면서 개념 간의 연관성을 찾아볼 기회가 되었던 점에서 역학문제 만들기 활동을 매우 긍정적으로 평가하였다. 그러나 역학 개념적인 측면에서는 8주차 이후부터 제시되는 퍼텐셜 개념에서부터 회전관련 역학 개념에 대한 어려움을 확인할 수 있었다. 이 중에서도 입자계의 선운동량과 관련한 로켓의 추진력, 로켓 방정식과 같은 내용을 특히 더 어려워하고 있음을 확인할 수 있었고, 이러한 개념에 대한 이해의 어려움으로 인해 관련 역학문제를 만들어 보려고 하였으나 실패하였다고 하였다. 관련한 P의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 어떤 부분이 본인이 공부해서 ‘아~ 개념들이 연결되어 있구나.’라는 것을 알게 되었어?

면담자: 음..., 그날 그 뭐지? 그 수업 시간 시간에 개념 같은 것도 보면, 되게 자연스럽게 넘어간다고 해야 하나? 그게 점점 발전해간다고 해야 하나? 개념이 그런 것도 있었고, 그 문제 자체는 그렇게 연결점이 보이진 않지만, 이거 공부를 하면서 개념 공부 알아서 한 개념에 관련된 내용을 공부를 하게 되니까 그런 거에서 연결점 있는 걸 느꼈어요.

연구자: 혹시 구체적인 사례는? 1학기 때 배웠던 역학 개념에서...

면담자: 그..., 운동에너지? 퍼텐셜에너지, 운동에너지 같은 거에서 그거가 막 넘어가면 그걸 이용해서 막 보존도 나오고, 그거 이제 어찌 보면 그 전

에 역학적 운동도 연결된다고 저는 생각을 했었던 것 같아요. 저는 그렇게 생각하고..., 틀릴 수도 있지만..., 그렇게 생각해서..., 그런 점도 그랬고, 뒤에 뭐..., 회전관성이라든지, 그런 것들? 그게 연결이 된다고 생각을 했던 것 같아요.

연구자: 그럼 뒤쪽으로 갈수록 이제 로켓 얘기 나오고, 회전 얘기 나오면서부터는 개념적으로 이해하는 것도 조금 어려웠었겠네?

면담자: 그건 확실히 뒤로 가서 진짜 어려웠던 것 같아요. 이해를..., 아..., 음..., 네. 충돌처럼 되게 그게 낫설어서 그런 것 같기도 하고, 공식 자체가 되게 어려워서 그런 거기도 하고..., 개념도 되게 어려워서...

연구자: 그러다 보면 오히려 문제 만들기 활동이 조금은 뭐랄까? 나한테 조금은 더 도움이 안 되지 않을까? 그런 개념이 이해가 좀 부족한 상태에서 문제를 만들고 하다 보면, 조금 버겁거나...

면담자: 솔직히 부담스러웠던 적은 좀 있었다고 해야 하나? 부담스러웠던 게, 물리 활동 자차 부담스러웠다기보다는..., 뭔가 여기서 제가 이 개념을 정확히 잘 모르는 거 같은데..., ‘여기서 무리 없는 문제를 만들 수 있을까?’ 하는 그런 부담은 있었는데, 그래도 그 개념을 이해하려고, 이 물리 문제를 만들기 위해서 그 개념을 이해해야 했고, 그 개념 이해하기 위해서 저는 이제 공부를 하게 된 거니까... 그 점에는 되게..., 이게 계기가 된 거죠. 저기 공부를 하게 된 계기가 된 거죠. 내신 같은 데 도움이 안 된다는 게..., 안 된다고보다는 이게 직접적 그 물리 개념, 물리 내신에 영향을 준다고보다는 이거 자체는 내신에 도움이 되었거든요. 왜냐하면, 개념에 대해 이해하는 데 도움을 주기도 했고, 제가 물리 공부를 하는 계기 중의 하나이기도 했고...

한편 P가 생각하는 가장 이상적인 문제에 대해서는 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 그러니까 개념이 여러 단계를..., 아까 얘기했던 여러 단계를 거쳐 가더라도 쭉 하면서 논리적 일관성도 있고, 숫자도 딱 딱 떨어지게 잘 정리가 되. 매끈하게 정리된 문제가 하나 있고, 어떤 문제는 개념은 한 두 개 정도? 기본적인 개념인데, 숫자가 실제 우리가 측정할 수 있는..., 실제 값이 들어가 있는 거야. 그래서 계산기를 통해 계산하더라도 어쨌든 꾸역꾸역 해서 계산을 할 수 있어서, 문제를 답을 낼 수 있을 것 같아 그 두 가지 문제 중에 본인이 생각했을 때 더 좋은지 어떤 것인지?

(중략)

면담자: 되게 어려운 거 같아요. 뭔가 너무 둘 다 다른 매력 있다고 생각하는 데.... 근데 물리 실력을 기른다는지, 물리 문제집에? 그런 식으로 물리 공부를 하기 좋은 건 아무래도 전자가 맞겠지만.... 이런 식으로 일상생활에서 바로 쓸 수 있다는지, 아니면 물리. 그냥 물리 공부하는 게 우리 내신이 아니라.... 물리! 그런 거는 후자가 되게 어울린다 생각해요.

연구자: 물리 자체로만 놓고 봤을 때는 뒤에 있는 문제들이 더 의미있는.... 그 간단한 공식이지만 실제 데이터를 이용한 문제가 의미 있는 문제다?

면담자: 실용적이잖아요. 데이터가 의미 있다고 해야 하나? 그렇게 해서 나온 값이....

이처럼 P는 개념의 형성을 위해서는 복잡한 계산을 중심으로 한 문제가 필요할 수 있지만 보다 이상적인 물리 문제는 단순한 개념이지만 실제 데이터에 근거한 값을 보다 이상적인 문제로 생각하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, P는 자신이 만든 역학문제에 대해서 다른 친구들에게 검토를 받기보다는 스스로 검토하는 배타적인 특성을 일관되게 보이는 것을 확인할 수 있었다.

IV.3.3. H의 심층 면담사례 분석 결과

1) H가 만든 역학문제에서 드러나는 전반적인 특징

연구 참여자 H는 P와 동일하게 역학문제를 만드는 과정에서 실생활과의 연관성을 매우 중요시 생각하였다. 그러나 자신의 물리적 개념 지식의 부족으로 자신이 알고 있는 범위 내에서 문제를 구조화해가고 있음을 확인할 수 있었다. H가 자신이 문제를 만드는 기본적인 방법에 대해서 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 세부적으로 들어가기 전에 혹시 본인이 문제를 만드는 데 있어서 기본적인 어떤 스타일이나 이런 게 있을까?

면담자: 음... 일단 물리 문제 만들면, 실생활에서 무조건 일어날 수 있는 일이야 한다는 그런 게 있는 것 같아요. 너무 망상적인 건 안 되는.....

연구자: 그냥 실현 불가능한 것은 안 된다. 실제 생활 속에서 찾을 수 있는 상황이어야 된다.

면담자: 그게 좀 중요했던 것 같아요.

연구자: 그러면 그 상황? 문제 상황이 하나 떠올랐으면, 어떻게 문제로 구체화시켜 나가?

면담자: 일단 생략해야 될.... 일단 부분부터 생각해서, 제가 물리를 기본적으로 이해도가 좀 낮으니까... 최대한 간단하게 하려고... 일단 제가 적용할 수 없는 상황을.... 일단 적용할 수 있는 상황이랑 적용할 수 없는 상황이랑 구분해서 적용할 수 있는 상황을 놓고, 오늘 배웠던 개념이 어떤 개념은 이거 적용되고, 어떤 실생활의 개념이 이거 적용된다고 해서, 그 다음에 응용을 한 다음에, 문제를 만들었던 것 같아요.

연구자: 그러면 그렇게 만들어진 문제는 사실은 실생활에 100% 반영하지는 못한다? 그렇게 된 이유는 자기가 알고 있는 개념에 양이나, 이런 깊이가 부족해서 그런 거 같아? 언젠가 물리를 더 열심히 해서 오늘 정도 수준 이상이 되면, 어느 정도 본인이 실생활에 있는 현상을 설명할 수 있을 거로 생각해?

면담자: 음.... 그냥 그게 정형화된 상황이라면.... 말도 안 되게 불규칙하고, 그런 경우는 아니라면, 다 재현시킬 수 있지 않을까 생각하는데요....

H 역시 실생활과의 연관성을 중시하고 있었으나, P와 가장 큰 차이점은 문제를 만드는 방식에서의 차이였다. P는 매주 새로운 문제 상황을 구상해서 문제를 만드는 반면, H는 시계라는 하나의 문제 상황을 중심으로 자신의 배운 물리적 개념을 다양하게 적용하려는 경향을 보이는 것을 볼 수 있었다. 또한, H는 2, 3, 5주차의 제외하고는 탈상황적 문제 상황을 중심으로 역학문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. H가 11회에 걸친 역학문제 만들기 활동일지에서 작성한 내용을 정리하면 [표 4-19]와 같다.

[표 4-19] H가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용

주차	문 제 상 황	걸린시간(분)	완성도	복잡도
2	시계의 시침과 분침(일상생활)	80	2	1
3	시계의 시침과 분침(일상생활)	25	2	1
4	자전거와 자동차의 운동(탈상황적)	30	1	1
5	시계의 시침, 분침, 초침(일상생활)	20	1	1
6	포물선 궤적과 2차 함수(탈상황적)	25	1	1
7	두 자동차 사이의 비둘기(탈상황적)	20	1	1
8	엘리베이터 속의 정지한 공(탈상황적)	32	2	1
9	연직 위로 던진 공의 에너지(탈상황적)	27	1	1
10	구멍 뚫린 원판의 질량중심(탈상황적)	25	1	1
11	목성 주위를 도는 우주선의 가속(탈상황적)	20	2	2
12	강체의 회전(탈상황적)	24	3	2

H는 역학문제를 만드는데 걸리는 시간에 있어서 2주차를 제외하고는 전체 학생의 평균치(22.98분~29.51분) 내에서 역학문제를 완성하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 H는 자신이 만든 문제에 대한 완성도와 복잡도를 일정하게 낮게 평가하고 있음을 확인할 수 있었다.

2) H의 역학문제에서 드러나는 개념 적용 및 구조화 과정 분석

H는 역학문제 만들기 활동에서 다른 연구 참여자들과 다르게 한 상황을 중심으로 다양한 역학문제를 만들었다. H가 2, 3, 5주차에 만든 문제는 [그림 4-32]와 같다.



[그림 4-32] 2주(왼쪽), 3주(중간), 5주(오른쪽)에 H가 제시한 문제 상황

H는 시계를 중심으로 한 문제에서 시계 바늘의 운동을 중심으로 문제를 구조화하기보다는 시계 바늘 사이의 각도, 시계 바늘을 벡터로 치환했을 때의 벡터의 합성과, 넓이를 구하는 형태의 문제를 구성하였다. 그러나 이러한 H의 역학문제 구조화과정은 문제의 표면 유사성에 근거한 유추전이를 통한 문제를 구조화이며, 역학 개념과 현상의 직접적인 구조 유사성이 드러났다고 보기는 어렵다.³⁾ 이처럼 H가 문제를 계속 변형하는 원인은 처음 만든 문제에 대한 불만족이 원인임을 확인할 수 있었다. 이에 대한 H의 설명은 다음과 같다.

연구자: 여기서는 넓이를 이용해서 했고.... 문제를.... 시간은 확 줄었네? 줄었던 이유는 뭐야?

면담자: 한 번 떠올리니까.... 이제 뭘 뒤에 적용시켜야 되는지 감이 와가지고, 그냥 빠르게 만들어지더라고요.

연구자: 그리고 여기서 이 문제를 풀 때, 핵심이 되었던 아이디어, 개념은 벡터의 외적?

(중략)

연구자: 그리고 나서 다시 시계로 돌아왔어? 그치? OO가 보면 시계가 문제에 대한 보물창고 같은 느낌이 들어? 뭔가 좀 막히거나 이럴 땐 또 시계를

3) 문제 해결과 관련된 연구에서 이전에 해결했던 문제를 바탕으로 새로운 문제를 해결하는 과정에서 문제 풀이자는 유추 전이를 경험한다(Holyoak & Thagard, 1995; Chen, 1996). 이러한 유추 전이 과정에서 이전에 해결했던 문제를 자원문제라고 하며, 새로 해결해야하는 문제를 표적문제라고 한다(박성익, 조영환, 2005). 또한, 문제의 해결과정에서 자원문제와 표적문제 사이의 유사성의 정도에 따라 표면유사성과 구조유사성으로 나눌 수 있다(Bassok, 2003). 또한, 유사성의 추상화 정도에 따라 요소 유사성, 관계 유사성, 체제 유사성으로 분류할 수 있다(Wharton, 1994).

도입하는 것 같고… (중략) 왜 그랬던 거 같아?

면담자: 시계 자체가 물리 문제를 만들다가 막히다 보면… 항상 보는 게 시계다 보니, 시계를 소재로 만들었던 것 같고요. 일단 시계 시침, 분침, 초침에서 제가 벡터랑 연관성이 조금 있다고 그때는 생각해서 여기 적어놔있던 것 같은데, 시계 자체에 적용할 게 굉장히 많다고 생각을 하고… 일단 벡터도 다 있고, θ 도 다 일정하게 주어서 있고, 그래서 시계란 소재를 많이 썼었던 것 같은데, 계속 변형을 했었던 이유는 계속 아쉽다는 생각이 들었었던 것 같아요. 아까 전에 처음 문제에서 이제 그냥 직선이랑 점이랑… 일직선이랑 반대하면 끝나고… 두 번째 그냥 넓이는 그냥 외적하고, 직각삼각형하면 끝나고 하나까… 이제 초침을 넣어서 ‘조금 이거 복잡하게 생각해 보자.’라는 취지로 이렇게 넣었었던 것 같은데, 막상 그렇게 어려웠던 문제는 아니었던 것 같아요.

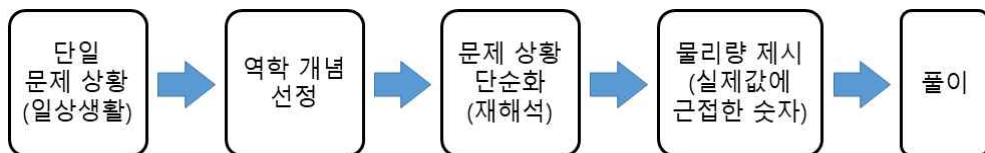
H는 P와 마찬가지로 문제의 구체화 정도와 관련하여, 문제에서 제시되는 물리량은 문자가 아닌 숫자로 나타나는 것이 더 좋지만, 개념에 대한 이해도를 확인하기 위해서는 문자로 제시하는 것이 좋다고 하였다. 이는 P가 생각하는 이상적인 역학문제와 비슷함을 확인할 수 있었다. 이에 대한 H의 면담 내용은 다음과 같다.

연구자: 그러면 물리 문제에서 실생활에 근접한 구체적인 숫자가 나오는 문제랑 그냥 문자로써 뭐… 질량은 m , 중력가속도는 g … 이런 식으로 주어지는 문제랑 어떤 게 더 좋은 거 같아?

면담자: 물리 문제 자체로써는 숫자가 나오는 게 더 좋다 생각하는데, 물론 그 개념에 대한 이해도를 평가하는 거는 숫자가 나오면 직관적인 그런 걸로 넣어서 이제 기적의 논리를 펼치게 되니까… 좀 때려 맞추기를 하다 보니까… 개념에 대한 평가로써는 문자가 들어가는 게 더 좋은 것 같아요.

H는 P와 유사한 역학문제 구조화 과정을 거치는 것을 확인할 수 있었다. 또한, H 역시 문제화하길 원하는 역학개념을 정하고, 이에 따른 문제 상황을 구조화한다는 점에서 다른 연구 참여자들과 동일하다고 할 수

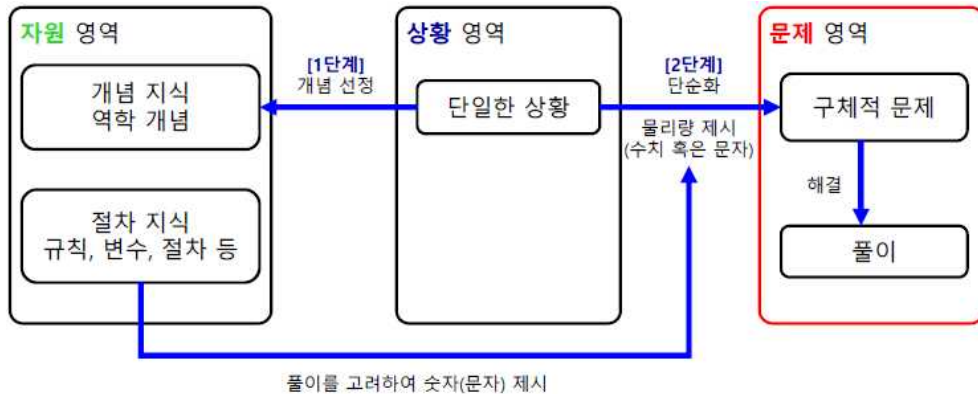
있다. 그러나 H는 문제를 만드는 과정에서 스토리텔링의 형태가 아닌 탈상황적인 기존의 잘구조화된 문제를 모방하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 L의 역학문제와 유사하다고 할 수 있다. H가 P와 다른 점은 하나의 문제 상황을 중심으로 여러 역학 개념을 적용하면서 자신이 만족할 만큼의 역학문제로 구조화시켜간다는 점이다. 본인 스스로 다양한 문제 상황이 떠오르지 않기 때문에, 되도록 하나의 문제 상황에서 여러 역학 개념 혹은 절차적 지식을 적용시켜보려고 하며, 문제 상황이 떠오르지 않는 경우, 수업시간이나 기존의 역학문제와 유사한 상황을 차용하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, P가 다양한 상황에서 자신이 적용하고 싶은 개념을 중심으로 상황을 단순화시켜간다면, H는 자신이 적용 가능한 개념을 중심으로 단일한 상황을 보다 단순화시키는 형태로 역학문제를 만들고 있다고 할 수 있다. 또한, H는 문제에 대한 자신의 풀이를 중심으로 숫자를 재조정하기보다는 문제를 만드는 과정에서 자신이 생각하기에 풀이가 가능한 수치 혹은 문자를 제시하고, 풀이 이후에 추가적인 수정이나 보완이 이루어지지 않고 마무리하는 것을 확인할 수 있었다. H가 역학문제를 구조화하는 순서를 도식화하면 [그림 4-33]과 같다.



[그림 4-33] H의 역학문제 구조화 순서

따라서 H의 경우 자신은 일상생활에서의 경험을 중심으로 역학문제를 구조화한다고 하였으나, 일상생활에서의 경험과 역학 개념 사이에서의 적용에 어려움으로 인하여 단일한 문제 상황 혹은 역학수업시간에 제시된 문제 상황을 중심으로 역학문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었

다. H의 구조화 과정을 [그림 2-3]에 근거하여 자원, 상황, 문제 영역을 중심으로 도식화하면 [그림 4-34]과 같다.



[그림 4-34] H의 역학문제 구조화 과정

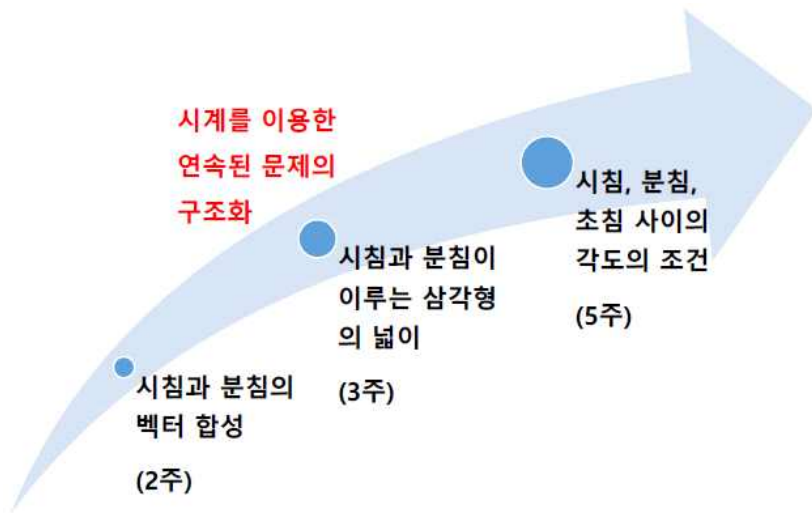
[그림 4-34]에서 드러나듯이 H는 P와는 다르게 자신이 역학문제로 만들려고 하는 단일한 상황에서 적용하고 싶은 역학 개념을 중심으로 개념이 적용 가능한 부분을 중심으로 역학문제를 구조화하였다. 관련된 H의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 그러면 그 상황? 문제 상황이 하나 떠올랐으면, 어떻게 문제로 구체화 시켜 나가?

면담자: 일단 생략해야 될... 일단 부분부터 생각해서, 제가 물리를 기본적으로 이해도가 좀 낮으니까... 최대한 간단하게 하려고... 일단 제가 적용할 수 없는 상황을... 일단 적용할 수 있는 상황이란 적용할 수 있는 상황이란 구분해서 적용할 수 있는 상황을 놓고, 오늘 배웠던 개념이 어떤 개념은 이거 적용되고, 어떤 실생활의 개념이 이거 적용된다고 해서, 그 다음에 응용을 한 다음에, 문제를 만들었던 것 같아요.

이러한 P의 역학문제 만들기 과정에서의 구조화 과정은 H와는 다른 문제만들기의 유형을 보여주었는데, 이는 자신이 선정한 문제 상황을 중

심으로 연속적인 문제를 만들었다는 점이다. 즉, [그림 4-32]와 같이 P의 경우 자신이 주목한 문제 상황에 대해서 스스로 만족스러운 수준까지의 역학문제를 만들지 못한 경우, 하나의 문제 상황을 중심으로 연속적인 문제 만들기를 통해서 문제 상황을 실제 상황과 가깝게 설명하기 위한 연속적인 구조화 과정이 이루어진다는 점에서 H의 역학문제 만들기 과정과는 다른 유형이라고 할 수 있다.



[그림 4-35] H의 연속적인 역학문제 구조화 과정

3) H가 역학문제 만들기 활동을 통해서 경험한 인지적, 정서적 변화

H는 자신이 가장 선호하는 과목으로는 생명과학을 뽑았고, 물리는 어느 정도 흥미가 있다는 응답을 보였다. 또한, 역학문제 만들기 일지에서도 P와 동일하게 역학에 대한 흥미도는 4점(흥미 있다), 역학 개념에 대한 이해도는 1점(최하위권)으로 일관된 응답을 보였고, 마지막 12주에서 흥미도에서 5점(매우 흥미 있다)이라는 응답을 보였다. H 역시 선행학습이 되지 않은 상태에서 물리학 수업에 대한 어려움을 느끼고 있었다.

이러한 H는 역학문제 만들기 활동을 통해 다음과 같은 인지적·정서적 변화를 경험하였다. 먼저 H는 역학 개념과 관련하여 질량중심 이후 강체, 강체의 회전운동에 대한 개념을 어려워하고 있었고, 그러한 이유로 지금까지 접해보지 못한 생소함을 이유로 들었다. 이러한 개념상의 어려움이 P가 만드는 역학문제의 완성도에도 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 관련하여 H의 면담내용은 다음과 같다.

면담자: 확실히 기억이 나는데요.... 질량중심을 배웠을 때였는데.... 질량중심을 배우고 나서부터 물리에 대한 어려움이 증폭적으로 좀 올라가고...

연구자: 비약적으로?

면담자: 네! 급격하게 올라가고....

연구자: 어떤 부분이 어려웠어? 질량 중심에서....

면담자: 일단 태어나서 처음 들어보는... 이제 저런 걸 생각해 본 적이 한 번도 없는데, 갑자기 저런 거에 대한 얘기를 하고.... 질량중심에 대한 얘기를 처음 들어보는데, 갑자기 얘기를 꺼내고, 회전관성은 들어봤는데, 갑자기 모르는 걸로 정의를 내리고 하다 보니 모르는 거에, 모르는 거에, 모르는 걸, 계속 얘기하다 보니까 계속 꼬이게 돼 가지고....

한편 H는 하나의 역학 법칙으로 다양한 상황을 설명하는 것이 보다 바람직하다고 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 이는 역학문제 만들기 초반 주로 사용했던 시계라는 단일한 상황을 다양한 개념으로 설명하는 것이 자신이 만드는 일반적인 문제가 아닌 예외적인 상황임을 알 수 있었다. 관련하여 H의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 그러면 상황이 여러 개고 그때 쓰이는 공식은 몇 개가 안 되는 문제가 있고, 반대로 상황은 한 개인데, 이런 것처럼 한 개인데, 거기에 맞는 물리 공식들이 많이 들어가는.... 둘 중에 어느 게 더 좋은지?

면담자: 저는 개인적으로 첫 번째가 더 괜찮은 것 같아요.

연구자: 그 이유는?

면담자: 그냥 여러 가지가 한 가지 상황에서 여러 가지 물리 공식이 들어간 것

은 조금 좁은 시야에서 보는 느낌? 물론 물리 개념만.... 물리 개념이 잡히는 사람이라면, 잘 적용해서.... 적용을 잘 하면 끝나는 문제인데.... 그 한 가지 물리 공식은 적용을 했는데, 또 한 번 다른 상황에서 적용을 해야 되고, 또 적용하고.... 활용도가 높아지는 게 더 잘 된다고 저는 생각을 해서....

연구자: 아니 왜 이렇게 물어본 거냐면, 처음에 네가 앞에 냈던 것을 보면 상황이 하나였거든.

면담자: 아~

연구자: 그렇지? 시계 하나 중심으로 해서 굉장히 다양한 걸 물어보려고 했었는데, 지금은 이제 반대로 생각하는 거잖아? 사실은.... ‘여러 상황을 뭔가 하나의 물리법칙으로 설명할 수 있으면, 그게 더 좋은 거 같다.’라고 하는 거 같아서, 조금 다른 거 같아서.... ‘뭐가 더 우선일까?’라는 생각도 들고....

면담자: 근데 처음에 만들었던 스타일도 싫지는 않은데, 지금 개인적인 생각으로 한 가지 물리 공식, 단일적인 개념으로 만드는 게 조금 더 좋은 거 같긴 해요. 사실 처음에 만들었던 문제도 좀....

H는 12회에 걸친 역학문제 만들기 활동에서 자신이 가장 잘 만든 문제로 11주차에 만든 운동량 보존법칙과 관련된 우주선의 가속과 관련된 문제를 선정하였다. H가 이 문제를 선정한 이유는 문제 상황 자체가 자신에게 굉장히 재미있게 다가왔으며, 이를 통해 이후 12주차에 역학에 대한 흥미도도 상승하는 계기가 되었다고 하였다. 관련한 H의 면담 내용은 다음과 같다.

연구자: 여기다가 냈었던 것 같은데.... 이때는 조금 더 다듬는 거 같아? 혹시 이때는 어떻게 이 문제를 만들었었는지....

면담자: 이제 수업 시간에 되게 기억에 남는 내용이었는데, 이제 이게 스윙 바이어서.... 속력을 두 배 가까이를 증가시켜.... 되게 인상에 남아가지고 했었던 거 같은데, 기본적으로 운동량, 운동에너지 보존법칙을 써서 푸는 문제인 거 같은데, 근데 이 문제는 그냥 스윙 바이 상황이 어떤 상황이나.... 이런 걸 조금 스스로 조금 잘 인식하고 싶어서 만든 문제였던 거 같은데요.

연구자: 아까 앞에서도 질량중심 개념에 대한 어려움이 꽤 높아졌음에도 불구하고, 이거는... 이 상황 자체가 매력적이었던 건가?

면담자: 좀 되게 신기했었어요. 질량이 엄청 높은 거 주변을 지나가면 속력이 증가? 이게 사실 처음 들으면, 말이 안 되는 거 같은데, 되게...

연구자: 매력적으로 본인한테 다가왔고... 그래서 나름 또 그래도 열심히 풀이하려고 시도를 많이 해서, 결과까지 내려고 했었고... 운동량 보존법칙 썼고, 그 다음에 수업 시간에 배웠던 얘기... 완성도는 ‘조금 부족하다.’... ‘운동력을 요구하는 문제는 아닌 듯하다.’ 왜 본인은 그렇게 생각해?

면담자: 이게 조금... 그... 이게 물체가 여러 개인데... 우주선이 두 개고, 목성이 하나인데, 우주선 1이랑 2랑 연관시켜서 조금 그렇게 푸는 문제 있으면 더 좋았을 것 같은데, 그냥 이렇게 두 개를 연관시켜서 만들려고 했는데, 이렇게 이거 한 다음에 열심히 이렇게 써 보니까 조금 여기서 까지하는게 힘들어가지고...

연구자: 여기... 요 이후의 충돌 상황은 지금 문제로 안된 거네?

면담자: 네. 거의 안 됐어요.

(중략)

연구자: 근데 물리에 대한 흥미는 ‘흥미있다.’에서 ‘매우 흥미있다.’로 넘어갔는데?

면담자: 이거는 그때 스윙 바이 때...

연구자: 아~ 그 전 그... 운동량 보존... 그 상황이 매력적이었고...

면담자: 이 스윙 바이를 만들고 되게 기분 좋게...

연구자: 그럼 그 문제를 만들면서 어떤 부분이 기분 좋아지게 했어?

면담자: 그냥 딱 만들고 나니까 조금 ‘아~ 이런 느낌이구나.’가 조금 머릿속에 잡혀서... 스윙 바이는 막상 들으면 ‘이게 무슨 말도 안 되는 소리잖아.’라는 느낌인데, 이렇게 딱 문제를 만들고 보면, ‘이게 말이 되나?’라는 생각이 조금씩 들기? 생각해서 그래서 조금 성취감이라고 해야 할까? 살짝 그런 쪽에...

그런데도 H는 이 문제에 대한 완성도와 복잡도는 낮게 평가했는데, 그 이유는 자신이 처음 의도했던 문제 상황인 우주선이 가속된 이후 새로운 우주선과 충돌하는 상황을 문제에 담지 못했기 때문이라고 하였다. 이를 통해 H의 경우 자신이 처음에 의도했던 문제 상황과 실제 문제로 만들

어지는 상황이 다를 수 있고, 이러한 괴리감이 H가 자신의 문제에 대한 완성도를 판단하는 데 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

또한, H는 역학문제 만들기 활동이 개념의 이해와 적용에 도움이 되고, 문제를 만드는 것이 즐겁다고 하였다. H의 경우 문제에서 제시된 상황에 대해서 민감하게 반응하는 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어 H는 과목별로 잘 구조화된 문제의 양상이 다를 수 있다고 인식하고 있었다. 특히 물리학보다 생명과학을 선호하는 H의 경우, 문제 만들기 활동에서 과목별로 문제의 특성이 다를 수 있다고 하였는데, 관련한 H의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 문제 만드는 상황이 직접적으로 도움이 안 되는데... 사실... 본인의 물리 점수에 직접 도움이 안 되더라도, 그래도 좋았던 부분은?

면담자: 기본적으로 생각을 할 수 있는? 생각을 하는 시간을 가지면서... 이해한 걸 그냥 '아! 이해했다.', '시험 문제 풀기 위해서 이렇게 해야지.'가 아니라, 이걸 이해했는데 어떻게 하면 내가 좀 더 내 걸로 잘 이해할 수 있을까? 이런 생각하는 시간 자체가 그냥 조금 즐거운 편이었던 것 같아요.

(중략)

연구자: OO가 생각했을 때, 가장 이상적인 완전한 형태의 물리 문제는 어떤 거야?

면담자: 음... 일단 조금은 복합적인 상황이 있어야 될 거 같고요. 그... 뭐라고 해야 되지? 어떤 다른 개념이 문제 풀기 위한 개념에 힌트로 작용해서, 계속 하나씩 풀리는 그런 느낌의 문제가 가장 좋은 것 같아요.

연구자: 여러 단계를 거쳐 가면서, 최종 답을 얻어 낼 수 있는 문제가 가장 잘 만들어진 문제다. 그거는 물리 문제뿐만 아니라 화학 문제도 그렇고, 과목에 관계없이 그런 문제가 가장 이상적이라고 생각하는 건가? 생물도 그런 게 가능해?

면담자: 생물은 사실 거리가 있는 거 같긴 한데... 생물은 조금 다를 것 같긴 하고...

연구자: 그럼 생물? 생명과학 과목에서 이상적인 문제는 뭐야?

면담자: 생명과학 이상적인 문제는 그냥 애들이 기억하는 사실을 가지고 추론할

수 있는 그런 다른 개념을 이끌어 낼 수 있는 문제가 가장 좋을 것 같아요. 이제 어떤 상황을 제시해 주고, 저희가 알고 있는 개념을 딱 가지고, 다른 개념을 끌어낼 수 있는 그런 문제가 가장 좋은 것 같아요.

연구자: 그러면 기준? 물리 문제 스타일하고는 다른? 반대네? 어떻게 보면? 물리 문제는 개념을 이용해서 뭔가 연결, 연결해서 최종 답을 얻어 간다면, 생명과학 같은 경우는 단서가 있어서... 어떤 조건이 있어서 그걸 가지고 새로운 법칙 이끌어 낼 수 있는? 그렇게 다르게 생각하는 이유가 있을까?

면담자: 과목 특성 자체가 잘 맞긴 한데, 일단 생물 같은 경우는... 사실 물리는 상황이 되게 여러 개이긴 한데... 생물도 여러 개이긴 한데... 물리만큼 많지는 않은 것 같은데... 그래서 생물 같은 경우는 애들이 그냥 상황 자체를 통째로 그냥 암기해 버리면, 선생님 입장에선 이제 그냥 암기한 애들 그냥 맞추게 하려면 좀 그러니까, 다른 상황 자체를 제시해야 하는 게 제일 좋은 문제라고 생각하는데... 물리 문제 같은 경우는 그냥 한 문제 상황에서도 요소를 조금만 바꾸면 되게 다양한 문제 상황이 나오니까 그렇게 생각하는 것 같아요.

연구 참여자 H는 역학문제 만들기 초반 단일 상황인 시계를 중심으로 벡터와 관련된 학습한 개념을 문제 상황에 적용하는 형태를 취하였으나, 이는 H가 적용하려는 역학 개념의 부족으로 인한 현상이었다고 할 수 있다. H는 자신이 매력적이라고 느끼는 문제 상황인 우주선의 무동력 가속상황(Swing-by)에 대해서 문제로 구조화하는 과정에서도 역시 자신이 가진 자원의 부족으로 만족할만한 문제로 구조화하고 있지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 입자계를 중심으로 한 역학 개념에 대한 어려움을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 연구 참여자 P와 유사한 어려움을 느끼는 것을 확인할 수 있었다.

IV.3.4. K의 심층 면담사례 분석 결과

1) K가 만든 역학문제에서 드러나는 전반적인 특징

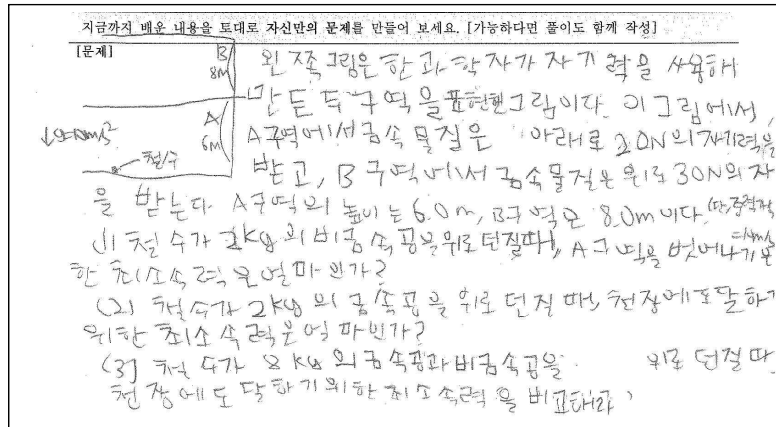
연구 참여자 K는 자신이 문제로 만들고 싶은 상황이 자신이 알고 있는 개념 범위를 벗어나는 경우, 자신이 알고 있는 개념으로 역학문제를 만들기 위해서 자신이 생각했을 때, 현실에서 볼 수 없는 가정들을 도입함으로써 역학문제를 구조화해가는 것을 확인할 수 있었다. K가 2주에서 12주에 걸친 11회의 역학문제 만들기 활동일지에서 작성한 내용을 정리하면 [표 4-20]과 같다.

[표 4-20] K가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용

주차	문 제 상 황	걸린시간(분)	완성도	복잡도
2	방안의 파리의 움직임(일상생활)	35	3	3
3	엘리베이터의 움직임(일상생활)	30	4	3
4	경사면의 각도에 따른 물체의 움직임(탈상황적)	35	4	4
5	경사면 위에 실로 연결된 네 물체(탈상황적)	45	4	4
6	여러 개의 원통 쌓기(탈상황적)	30	2	4
7	두 가속구간을 움직이는 공(사고실험)	55	4	4
8	경사면에서의 해머던지기(탈상황적)	40	3	4
9	복잡한 형태 물체의 질량중심(탈상황적)	25	3	3
10	등간격인 6개의 물체의 충돌(탈상황적)	20	3	3
11	등속원운동 후 포물선 운동(탈상황적)	20	3	2
12	등속원운동, 포물선, 용수철(탈상황적)	30	3	3

K는 자신이 만든 역학문제에 대해서 스스로 평균 이상의 완성도와 복잡도를 가지고 있다고 평가하고 있었다. 특히K는 자신이 만든 총 12회의 역학문제들 중 7주차에 만든 역학문제를 가장 잘 만든 문제로 선정하였다. 문제를 만드는데 걸린 시간도 가장 긴 55분이 걸렸다. 일-운동

에너지 정리를 바탕으로 서로 반대 방향의 가속도가 작용하는 가상의 공간에서 물체의 운동을 설명하는 K가 실제 만든 문제는 [그림 4-36]과 같다.



[그림 4-36] K가 선정한 가장 완성도 높은 역학문제

K는 이 문제와 관련된 상황을 초등학교 때 했던 게임에서 차용하였으며, 이와 같은 상황을 실제로 구현하는 과정에 대해서는 명확히 설명하기 어려워하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 문제에서 풀이에 대한 완성도와 복잡도는 비교적 높은 수준으로 평가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 역학문제를 만드는 과정에서 너무 쉽지도, 그렇다고 풀 수 없을 정도의 어려운 문제도 아닌 나름의 적절한 수준의 역학문제를 만들고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 관련된 K의 면담 내용은 다음과 같다.

면담자: 초등학교 때 했던 게임인데... 그게 그니까 ‘슈퍼마리오 갤럭시’라는 게임인데... 이게 캐릭터가 그 구간을 지나는데, 이런 구간이 있었거든요. 한마디로, 우주를 배경으로 한 거라 사실은... 그래서 여기서 뛰면 죽는 구역이 나와요. 이 구역의 경계면까지 뛰면 다음 구역이 나와요. 그래서 그게 되게 인상깊어가지고, 그 때 기억을 기반으로 문제를 만들었던 것 같아요.

(중략)

연구자: 어쨌든 게임 상황이지. 근데 실제로는 이런 상황을 만들 수가 있을 것 같아?

면답자: 실제로요? 음.... 그제... 일단은 자기력을 쓴다고 했는데, 자기력이나 전기력을 써 가지고, 그걸 구분 할 수 있긴 한데.... 애랑 애 사이에 금속판 같은 게 들어가야 하거든요. 그래서 정 비슷하게 만들면, 판이 있어가지고, 장을 만들었는데, 구멍을 작게 뚫어 가지고, 그 사이에 통과하게 한다든지... 그 정도까지는 가능할 것 같아요.

(중략)

연구자: 어쨌든 문제를 만들고, 풀이를 하는데 있어서 완성도를 꽤 높게 평가했잖아. 본인이. 이런 문제를 만들 때, 누군가 옆에 다른 사람한테 검토를 받는 거야? 아니면 본인 스스로 ‘그냥 아 이 정도면 풀이가 완벽하다.’고 판단하는 거야? 문제가?

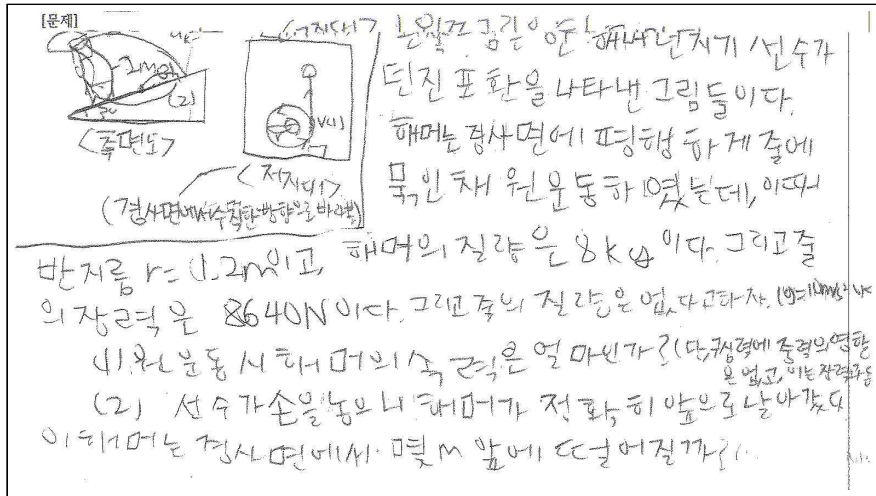
면답자: 제가 판단해요. 사실은.

연구자: 어~ 그래. OO이가 생각했을 때, 이 문제부터 시작해서 풀이까지를 봤을 때는 크게 ‘뭐 잘못되거나 오류의 가능성이 없다.’라고 본인 스스로 판단하는 거네? 문제 만들다 보면 사실 아까도 잠깐 나왔지만, 자기가 알고 있는 부분에 거의 경계까지 가다 보면 문제를 만들고 풀이를 하는 상황에서 혹시 풀이에 대한 확신이나 문제에 대한 확신이 좀 떨어지거나 그러진 않아?

면답자: 사실 그런 경우가 많아 가지고, 주로 여러 번 검토를 하죠. 그래서 다른 방법으로 가보기도 하고 그러는데.... 이거는 너무 어려워가지고 제 한계를 넘어버리는 그런 문제도 아니고요. 그리고 반대로 너무 쉽거나 한 것도 아니라서... 그래서 그 한마디로 설계 할 때마다 너무 어려운 문제를 만들면 저도 제 자신을 못 믿게 되고 그러거든요. 반대로 너무 쉬운 문제를 만들면 또 찝찝하고 그래서 그 수준을 잘 조절한 거 같아요.

2) K의 역학문제에서 드러나는 개념 적용 및 구조화 과정 분석

K는 8, 9, 10, 12주차에서 역학문제는 P, H와는 다르게 서로 다른 개념들을 병렬적으로 합치는 형태의 문제를 만드는 것을 볼 수 있었다. 대표적인 사례는 [그림 4-37]와 같다.



[그림 4-37] K가 만든 전형적인 역학문제(8주차)

P는 서로 다른 역학 개념을 합쳐서 문제를 구성하는 이유에 대해서는 앞서 7주차에서 언급하였듯이 본인이 판단하는 적절한 복잡도를 유지하려는 방법으로 그 과정에서 자신이 문제 상황에 적용하기 어려운 개념들은 제거하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 앞서 단일한 경사면 위에서 물체의 운동을 설명하기 위해서 적용했던 수직항력이나, 중력, 마찰력을 여기서는 적용하기를 어려워하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, K는 같은 역학 개념이라 하더라도 문제 상황에 따라 적용하는 양상이 다를 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 K의 역학문제는 [표 2-3]의 문제의 범주에 개념이나 법칙들 사이의 불연속적인 관계를 보여주는 비구조화된 문제관련 특성을 드러내고 있음을 알 수 있다. 관련하여 K의 면담내용은 다음과 같다.

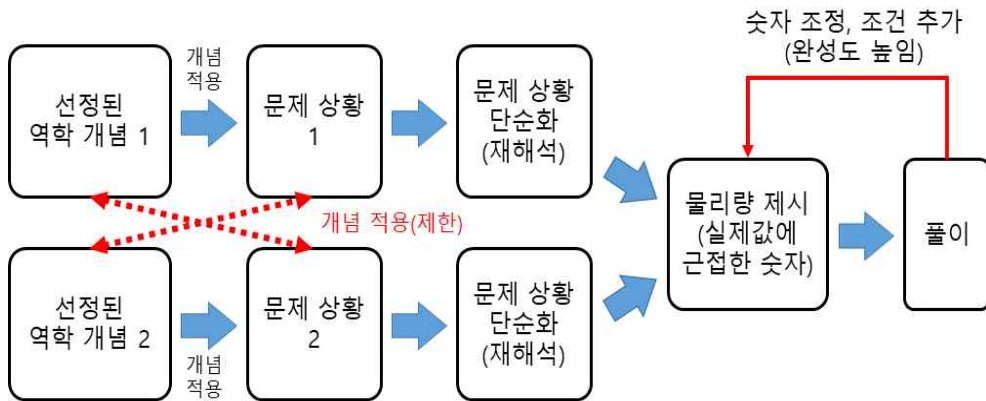
연구자: 물리적 상황보다는 자기가 알고 있는 개념 두 개를... 물리적 개념 두 개로 좀 묶어보려고 했던 거네? 그렇게 하면 조금 더 새로운 문제가 될 것 같아서?

면담자: 그렇죠.

연구자: 그렇게 하면서… 근데 문제에 대한 완성도는 ‘보통’정도라고 했는데, 그렇게 생각했던 이유가… 나쁘진 않으나 원래 넣으려고 했던? 원래 또 다른 상황 있었네? 처음에? 기억이 나나?

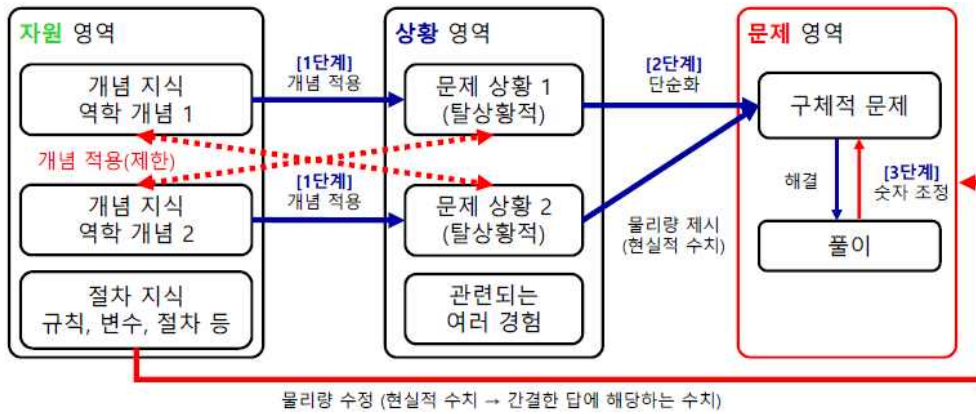
면담자: 이렇게 던져 가지고… 그래서 원운동 시켜가지고, 이게 땅에 닿으면… 그게 또 굴러 내려오면서, 한마디로 경사면이 중력과 수직항력, 마찰력… 하는 그 문제를 넣으려고 했었던 것 같아요. 짧은 기억 안 나는데… 그러면 너무 복잡해져 가지고요. 그걸 뺐 거죠.

관련하여 K가 역학문제를 만드는 과정을 순서대로 도식화하면 [그림 4-38]과 같다.



[그림 4-38] K의 역학문제 구조화 순서

[그림 4-38]에서 드러나듯이 K의 경우, 앞선 P나 H의 사례와는 상당히 다른 역학문제 구조화 순서를 따르고 있음을 확인할 수 있다. 본인 스스로 전혀 다른 역학개념이 적용되는 두 문제 상황을 병렬적으로 배치하면서, 각 상황에 따라서 제한적으로 역학개념이 적용되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 K의 구조화 과정을 [그림 2-3]에 근거하여 자원, 상황, 문제 영역을 중심으로 도식화하면 [그림 4-39]와 같다.



[그림 4-39] K의 역학문제 구조화 과정

K의 역학문제는 [표 2-3]에서 드러난 잘 정의된 초기 조건 및 알려진 최종 상태와 실제 값에 근거한 변인을 설정하며, 단일한 답과 정확하고 수렴적인 답을 얻어내기 위해서 3단계의 숫자 조정과정을 여러 번 거쳐 잘 구조화된 문제의 요소가 드러나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, K는 자신이 이해하고 있는 정도의 역학 개념에 대해서 나름의 상황을 정하여 역학문제를 구조화하였으나 개념 사이의 불연속적인 관계로 인한 비구조화된 문제가 가진 요소들도 드러나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 K의 경우, 서로 다른 두 종류의 역학 개념을 문제로 합치는 과정인 2단계의 단순화 과정에 대한 적절한 조언이 이루어진다면, K가 만든 문제는 보다 확장된 형태의 잘 구조화된 문제로 발전될 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

3) K가 역학문제 만들기 활동을 통해서 경험한 인지적, 정서적 변화

K는 환경이나 적정기술관련 전공을 희망하는 학생으로 역학에 대한 흥미도는 평균 3.09, 이해도는 3.00으로 보통정도의 흥미와 중위권의 이해도를 가지고 있다고 스스로를 평가하였다. 특히 물리학은 다른 과학 분야와 달리 인간을 돕는 데 직접적인 연관이 없고, 진학을 위한 도구적 교과로서 인식하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 특이한 점은 본인 스스로를 완벽주의적 성향이 있어서, 역학문제를 만들 때 다른 문제를 약간 수정하기 보다는 직접 만들려고 하며, 비교적 많은 시간을 들여서 완성도 높은 문제를 만들려고 노력하는 편이라고 하였다. 이와 관련된 K의 면담 내용은 다음과 같다.

연구자: 그거에 비해서 물리는 조금 그 정도는 아니고.... 근데 자기가 흥미는 보통 정도인데, 그래도 개념에 대한 이해도는 중위권 정도라고 했는데 그렇게 체크 이유는?

면담자: 그냥 별거 아니고 성적이 중위권이라서 그냥....

연구자: 딱 성적이 중간 정도라서.... 굉장히 객관적이네. 앞으로 OO이는 전공을 뭐하고 싶어?

면담자: 특별히 안 정했는데.... 뭐 생물 쪽으로 갈 수도 있고요, 환경 쪽으로 갈 수도 있고요.... 그렇게 해서 과학기술로 사람들을 많이 돕고 싶어요.

연구자: 그렇게 OO이가 앞으로 전공을 정하는 게 있어서 지금 배우는 물리는 도움이 어느 정도 될 거 같아?

면담자: 아무리 낮게 잡아도 대학가는 데는 도움이 되겠죠. 그리고 전기 쪽으로 가게 된다면 적정기술이나 아니면 신재생에너지 좋아하게 된다면, 그 물리학이 필요할 수도 있고요.... 사실 뭐... 루트가 딱 정해진 것이 아니니까.... 그래서 물리랑 접목된 분야로 갈 수도 있고 하니까.... 분야에 따라 갈린다고 생각해요. 제가 앞으로 어떤 길을 걷는지에 따라서....

연구자: 근데 물리학 과목 자체에 대한 흥미는 그렇게 높은 편 아닌데.... 그럼 물리가 재밌지 않는 이유는 뭐야? 혹시? 얘기해 줄 수 있을까?

면담자: 일단은 좀 어렵고요.... 저한테는.... 그리고 약간 사람을 돕는 게 제 꿈이라고 했잖아요? 근데 그 쪽이랑 생물, 지학은 직접적으로 연관이 있는데, 물리는 그거 비해서 약간 떨어진 편이잖아요? 뭐 지학은 환경을

지키기 위해서 뭔가 해도 되고, 아니면 생물은 사람들에게 약을 개발하는 그런 것을 해도 되고 할 수 있고, 화학도 비슷하게 할 수 있는데, 물리는 그렇게 돕는다? 그런 느낌이 약간 떨어져 있잖아요. 사실은? 제가 기계공학 그 쪽에 관심이 있는 것도 아니라서... 사실 컴퓨터 것도 아니고, 전자 공학도 아니고 해서... 진로랑 상관없어서? 점점이 별로 없어서?

연구자: 물리는 아주 재미있지는 않다... 보통 물리문제 만들기를 매주 하는데 여기에 쓰는 시간이 어느 정도 걸려?

면담자: 제가 근데 장점이라고 할 수도 있고, 단점이라고 할 수도 있는데... 약간 완벽주의 성향이 있거든요. 늘 좋은 결과가 나타나는 것은 아닌데... 그래서 일단 30~40분은 걸려요.

연구자: 그래서 어쨌든 풀이까지 하는데 있어서 본인이 만족할 때까지는 최대한 완성을 시키려고 노력을 하는 거네? 문제 안에서?

면담자: 네.

또한, P, H와 다르게 K는 역학문제 만들기 활동 자체에 대해서 본인 스스로 아직 부족하며, 역학문제 만들기보다는 이미 잘 구조화되어 있는 문제를 푸는 것이 더 중요하다는 점을 면담 과정 중간 중간 언급하였다. 그러면서 동시에 잘 구조화되어 있지만 어려운 문제는 풀이할 수 없는 경우 포기하는 과정에서 자신이 얻는 것이 없지만, 역학문제 만들기 활동을 통해서 자신이 알고 있는 역학 개념의 한계를 확인할 수 있고, 이러한 한계를 넓히기 위한 의미로써 역학문제 만들기 활동에서도 의미를 찾을 수 있다고 하였다. K에서 있어서 역학문제 만들기 활동과 역학문제 풀기 활동은 별개의 차원으로 각각의 의미에 대해서 다음과 같이 설명하였다.

연구자: 문제 만들고 나서 본인이 느끼는 느낌은 어때? 그냥 솔직하게? 처음에 만들었을 때?

면담자: 머리가 아팠고, 고치고 그러느라... 그리고 이게 첫 번째라 드러나지 않지만, 가면 갈수록 시간을 쓰고 그러다 보니까 가끔씩 ‘아~ 공부할 시간을 뺏겼다.’라고 느낄 때도 조금 있고요. 최근에 들어와서 그게 좀

더 많아지고요…. 바빠지니까…. 일단 여유로울 때는 그런 생각은 많이 없었던 거 같고요.

연구자: 이 문제 만들기 활동이 본인의 물리 공부하는 그렇게 아주 긍정적인 도움은 안 된 거네?

면담자: 뭐 이런 거 만들었고, 뭔가 해냈다는 느낌도 들기도 하고, 창의력이 느끼는 느낌도 들기는 하는데…. 뭔가 실력이 완벽하게 향상되었다는 느낌은 그렇게 잘 들지가 않아요.

연구자: 그냥 그러면 기존에 있는 문제집에 있는 문제를 더 많이 풀어 보는 게 본인의 공부 좀 더 도움이 될까? 두 가지 방법이 있어. 이렇게 문제를 만들면서 공부하는 방법 있고, 다음에 그냥 어떻게 보면 굉장히 잘 다듬어진 문제지에 문제를 많이 푸는 과정이 있고…. 어떤 것이 본인한테 더 도움이 될 거 같아?

면담자: 솔직히 말하자면, 문제지에 문제를 많이 푸는 게 도움이 될 거 같아요. (중략)

연구자: 문제를 만드는 거랑 푸는 건 어떻게 보면 좀 별개네? 본인 입장에서는? 어느 게 좀 더 어려워?

면담자: 둘 다 못하기는 하는데…. 푸는 게 더 어렵죠.

연구자: 푸는 게…. 아무래도 만드는 건 좀 쉬운 편인가?

면담자: 만드는 건 제가 할 수 있는 범위 내에서 만드니까요.

연구자: 풀 수 있는…. 풀이도 어느 정도 되는 상황에서 하기 때문에, 문제를 푸는 거 보다 만든 게 조금 더 쉽다. 라는 거지? 그러면은 사실 물리 공부하는 데 있어서는 그렇게 도움이 안 되는 건가? 문제 만들기 활동 자체가?

면담자: 몇 개는 도움이 됐긴 했거든요. 예를 들어서 뒤로 갈수록 시간이 없어서…. 이때나 지금이나 약간 그런 게 있는 것 같거든요. 제가 그렇게 아는 선에서 그 여기 나온 거 보고 대충 만드는 그런 게 아니라, 사실은 최대한 제가 알 수 있는 범위의 한계까지 도전하고, 혹은 그 한계를 넓히려고 하거나…. 한 마디로 그러니까 진짜 어려운 문제를 보면 아예 이해를 못 하거나 연필을 놓잖아요? 근데 이런 거는 하다 보면 가끔씩 한계에 도전하게 되고, 혹은 할 수 있는 한도를 높이기 되고, 그런 효과가 있는 거 같아요.

이처럼 K의 역학문제는 기본적으로 개념을 중심으로 탈상황적인 역학 문제를 주로 만드는 것을 확인할 수 있었다. 그 과정에서 자신만의 역학

문제 만들기의 복잡도를 확보하는 방안으로써 서로 독립적으로 보이는 역학 개념을 병치하는 전략을 취하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 자신이 알고 있는 자원의 범위 내에서 문제를 만들고, 스스로 판단하는 완벽주의적 성향으로 인해서 전반적으로 복잡도와 완성도를 높게 평가하는 것을 확인할 수 있었다.

IV.3.5. J의 심층 면담사례 분석 결과

1) J가 만든 역학문제에서 드러나는 전반적인 특징

J가 2주에서 12주에 걸친 11회의 역학문제 만들기 활동일지에 작성한 내용을 정리하면 [표 4-21]와 같다.

[표 4-21] J가 작성한 역학문제 만들기 활동일지 내용

주차	문제 상황	걸린시간(분)	완성도	복잡도
2	단진자의 측정(실험설계)	80	5	4
3	구슬 악기(일상생활)	56	2	3
4	유리판 위의 구슬의 포물선 운동(실험설계)	102	4	3
5	두 경사면 사이의 물체(탈상황적)	30	2	2
6	새로운 형태의 타워 크레인(일상생활)	90	3	3
7	등속 원운동하는 물체(탈상황적)	15	2	3
8	퍼텐셜에너지 그래프(탈상황적)	45	3	2
9	구멍 뚫린 원판(탈상황적)	75	2	2
10	우주선의 행성 착륙과정(사고실험)	80	3	3

J의 경우 역학문제를 완성하는데 걸린 시간이 64.82분으로 [표 4-14]에서 드러난 전체 학생의 평균치(22.98분~29.51분)보다 훨씬 많은 시간을 사용하였으며, 심층면담에 참여했던 다른 참여자들보다도 많은 시간을 이용하여 역학문제를 만들었음을 확인할 수 있었다. 특이한 점은 역학문제를 만드는데 걸린 시간이 최소 15분에서 최대 102분으로 많은 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 또한, J는 자신이 만든 역학문제에 대해서 일상생활이나 실험 설계와 관련된 문제 상황을 바탕으로 오랜 시간이 걸린 문제에 대한 완성도와 복잡도를 높게 평가했지만, 탈상황적 문제 상황을 이용해 비교적 짧은 시간에 완성한 역학문제에 대해서는 완성도와 복잡도를 낮게 평가하는 것을 확인할 수 있었다. J는 자신의 성향상 역학문제를 만드는 과정에서 기존의 문제를 참고하지 않고, 자신이 알고 있는 역학개념과 문제 상황을 이용해서 최대한 새로운 문제를 내려는 경향을 보이는 것으로 확인할 수 있었다. 관련한 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 그냥 일반적인 교과서나 문제집에서 볼 수 있는 전형적인 문제는 아닌 거 같고... 뭔가 좀 특이하거든. 고민도 되게 많이 한 거 같고... 시간 쓴 거 보니까... 해서 어떻게 보면 그냥 쉽게, 그냥 있는 문제 적당히 변형해서 숫자만 적당히 좀 바뀌서 낼 수도 있을 것 같은데... 그렇지 않은 것 같아? 굳이 그렇게... 이렇게 좀 어렵게 생각했던 이유가 있을까? 문제를?

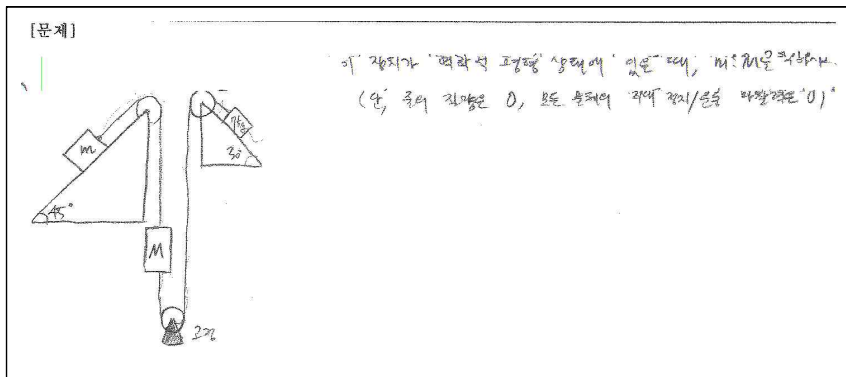
면담자: 좀 되게 개인적인 생각일 수도 있는데... 어떤 다른 사람이 했던 거를 베끼는 거 굉장히 별로 안 좋아해요.

연구자: 응. 흠치는 거니까?

면담자: 제가 한 거를 다른 사람이 가져가는 것도 좀 그렇고... 제가 다른 사람... 이미 좋은 게 있는데, 심지어는 좋은 게 있는데도... 그거를 이용하는 거는 조금 불편해요.

2) J의 역학문제에서 드러나는 개념 적용 및 구조화 과정 분석

J의 경우 다른 면담자들과는 다르게 다양한 구조화 과정을 취하는 것을 확인할 수 있었다. 분석결과 J는 크게 세 가지 유형으로 역학문제를 구조화하는 것을 볼 수 있었다. 먼저 탈상황적인 문제는 자신이 이해하지 못하는 개념을 적용하는 과정에서 적절한 문제 상황이 떠오르지 않아서 개념 중심의 문제로 완성하였고, 공통적으로 이 문제에 대한 본인 스스로 불만족함을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 자신이 이해하는 범위 내에서 역학문제를 완성하는 과정에서 스스로 판단하는 복잡도와 완성도 역시 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 역학문제에서 변인을 설정할 때도 다른 문제들과 달리 구체적인 숫자가 아닌 문자로 변인을 제시하는 것을 확인할 수 있었다. J가 탈상황적인 문제 상황을 기준으로 만들었던 전형적인 문제는 [그림 4-40]과 같다.



[그림 4-40] J의 탈상황적인 역학문제(5주차)

J는 이 역학문제에 대해서 만드는 과정에서 빗면에서의 물체의 운동보다는 줄이 잡아당기면서 움직이는 과정에서의 장력의 크기나 방향과 관련된 이해의 어려움을 겪고 있었고, 이를 문제 상황에 적용하는 것 역시 어려움을 확인할 수 있었다. 특히 J는 자신이 장력과 관련된 역학문제

만들기 활동을 통해서 이러한 어려움을 확인할 수 있었다고 하였다. 관련한 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 그래서라도 앞에 스타일하고 좀 많이 다른 거 같아. 숫자도 되게 단순하고, 특수각 쓰고, 그림도 간단하고, 그리고 문제에 대해서 서술도 되게 단순한 하고… 풀이에 대한 만족도는 어느 정도?

면담자: 문제 자체가 너무 간단해서 풀이도 별 거 없는 거 같습니다.

연구자: 그래서… 다른 거에 비해서는 시간도 그렇게 많이 안 들었던 거 같고, 그러면은 문제 이렇게 간단해진 가장 기본적인 이유는 관련된 어떤 아이디어? 문제에 대한 아이디어 좀 없어서?

면담자: 제가 완벽하게 이해를 못 하는… 아… 이거를 장력을… 장력이 적용되는 그런 물리적 환경에 대한 이해가 충분히 있었으면, 뭐 다른 개념을 더 집어넣어서 만들 수도 있었겠죠?

연구자: 개념에 대한 이해가 부족한 거야? 상황에 대한 이해가 부족거야?

면담자: 장력이 적용될 때에… 그 상황….

연구자: 어떤 상황에서 장력이 쓰이는지 이런 것들에 대한 이해가 좀 부족한 건가?

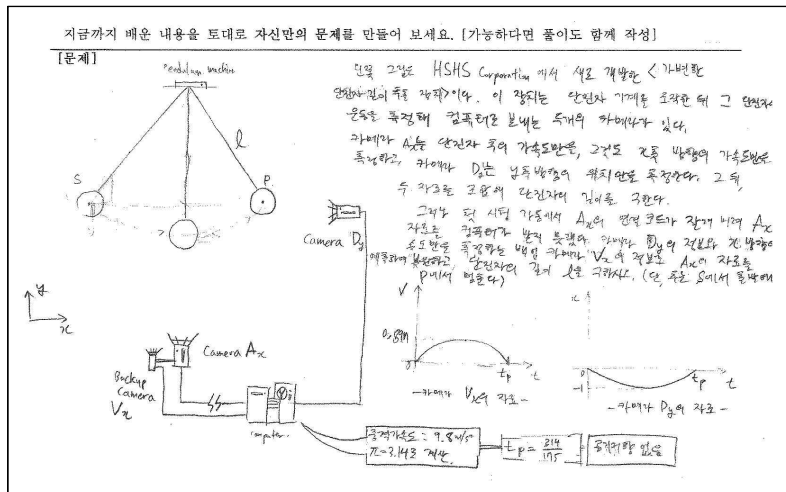
면담자: 그러니까 장력에 의해서 상호작용이 일어날 때 있잖아요? 예를 들어서 이런 상황이라던가 아니면, 줄 이렇게 연결 돼 있는데 어느 한 쪽에 의해서 떨어진다든가….

면담자: 확실히 장력에 대한… 부족하다는 것을 이거랑 그걸 통해서 확실히 알 수 있었어요.

J가 만든 역학문제의 첫 번째 유형에서 나타나는 역학개념의 적용 및 문제의 구조화의 순서는 H의 구조화 순서인 [그림 4-33]과 같은 형태로 문제를 구조화하고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 J는 역학 수업 시간에 제시된 문제 상황을 중심으로 기존의 탈상황적이고 전형적인 문제 상황을 약간 변형하여 역학문제를 구조화하는 것이 H와 다른 점이였다. J의 경우 자신이 이해하기 어려워하는 역학개념을 적용하는 경우 역학문제의 완성도 및 복잡도를 높이기 어려워서, 기존의 역학문제에서 제시되는 상황을 참조하지만, 본인 스스로는 매우 불만족스러워하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 J의 구조화 과정은 [그림 4-34]과 동일한 과

정을 거치는 것을 확인할 수 있었다.

두 번째로, 다른 면담자와 다르게 문제 상황을 실험설계에 가깝게 문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 전형적인 실험설계형 문제는 [그림 4-41]과 같다.



[그림 4-41] J의 실험설계형 역학문제(2주차)

J는 본인이 이전에 알고 있었던 단진자 관련 지식과 연구자가 수업 시간에 제시한 운동학 관련 개념들을 중심으로 역학문제를 설계하는 과정에서 속도와 가속도를 측정하기 위한 장치를 바탕으로 진자의 운동을 각각 가로(x)축은 변위 정보, 세로(y)축은 속도 정보를 제시하는 형태로 문제를 구성하였다. 특이한 점은 각 카메라의 역할이 변위, 속도, 가속도의 측정 장치로 계산을 통해 얻어내기보다는 카메라에서 직접 측정되도록 문제를 설계했다는 점이다. 이는 앞서 계산을 귀찮아하고, 컴퓨터를 통한 결과를 분석해서 예측하는 것을 선호하는 J의 성향이 반영된 결과라고 할 수 있다. 이후 일상생활과 관련된 역학문제에서도 동일하게 비교적 자세하게 문제 상황을 기술하고 그림을 그려서 역학문제를 완성하는

데 많은 시간을 들인 것을 확인할 수 있었다. 이와 관련하여 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 이런 문제 상황을 아이디어로 끄집어냈었던... 기본적인 본인의 생각?

면담자: 이게 사실 어느 하나? 하나씩 비어있는 거잖아요. 나머지는 다 넣어서 계산할 수 있고... 이게...저는 문제 만들면서 시간이 오래 걸리니까 그만큼, 제가 문제를 만들면서도 공부를 하려고 하거든요. 그래서 최대한 많은 걸 한 번에 하려고 하긴 했어요.

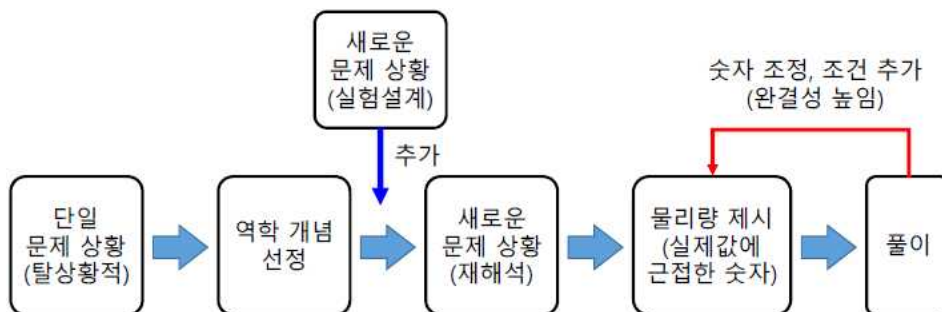
연구자: (중략) 약간은 측정을 위한 실험 장치 세팅 하는 게 뒤로 좀 더 많다고. 굳이 그렇게 문제를 만드는 이유가 있을까? 그냥 일반적인 상황에서 어떤 물리량을 계산하는 문제가 아니라, 그 물리 관련해서 장치가 있고, 그거를 뭔가 측정하기 위한 실험장치 세팅으로 자꾸 문제를 만드는 거 같아. 기본적으로. 그런 이유가 있어?

면담자: 제가 만드는 문제 같은 것이 일상적인 상황에서 나올 수 있는 것은 아니잖아요?

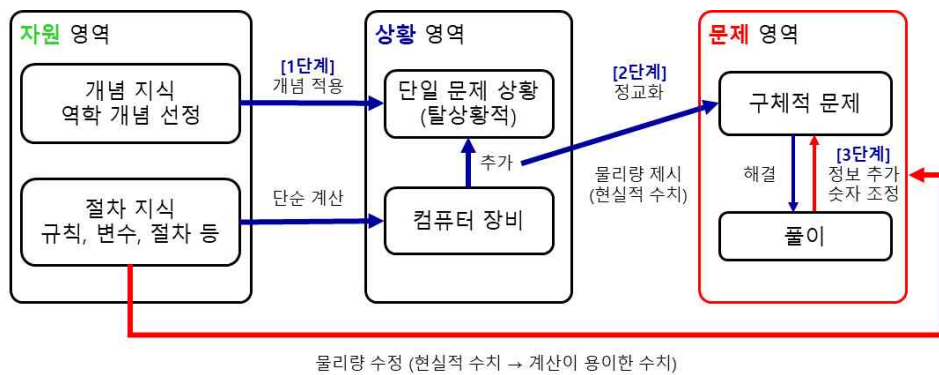
연구자: 응. 그렇지. 그래서 좀 특이한 거 같아. 왜 그랬을까?

면담자: 여러 가지를 한 번에 넣다 보면, 좀 일상에서 문제가 많이 멀어지게 되기로 하더라고요. 그런 문제 상황 자체를 뭐... 어떻게... 문제 어떤 일단 만들고, 나중에 또 이런... 여기 같은 경우에는 이런 악기를 만들었다고 하는데... 그러면 아무래도 좀 혼히 볼 수 있는 상황은 아니고...

J가 두 번째 유형에서 역학문제를 만드는 순서를 도식화하면 [그림 4-42]와 같다.



J의 경우 역학문제를 구조화하는 과정에서 앞선 면담자들과는 다르게 단순화가 아닌 정교화하는 전략으로 역학문제를 구조화하는 것을 알 수 있었다. 단진동이라는 단순한 문제 상황에 대해서 실제 측정이 가능한 실험설계에 가까운 다양한 측정 장비 및 구체적인 상황설명이 주어진다는 점이다. 또한, 이러한 측정을 통한 일차적인 데이터의 처리는 문제를 푸는 과정이 아닌 컴퓨터를 통한 처리로 원하는 이차적인 값으로 변형되어 출력되는 것으로 역학문제를 만드는 것을 볼 수 있었다. 이는 J가 단순한 계산을 싫어하고, 이차적인 계산 값을 중심으로 한 현상에 대한 설명 및 예측을 중시하는 성향이 드러난 것이라고 할 수 있다. 이러한 J의 구조화 과정을 [그림 2-3]에 근거하여 자원, 상황, 문제 영역을 중심으로 도식화하면 [그림 4-43]과 같다.

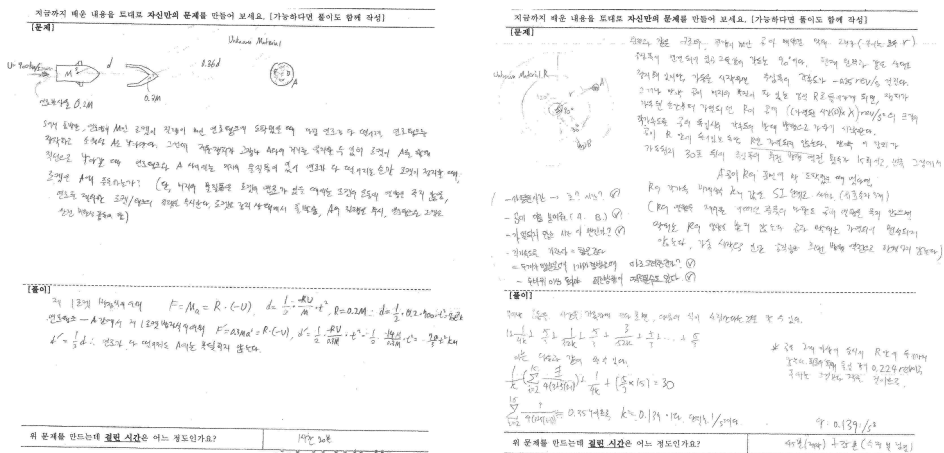


[그림 4-43] J의 역학문제 구조화 과정(두 번째 유형)

[그림 4-43]에서 드러나듯이 J의 경우 본인이 이전에 학습했던 단진자를 중심으로 역학 수업시간에 제시된 운동학 관련 변위, 속도, 가속도와 관련된 개념을 시간에 따른 그래프를 이용하여 해결하는 방식으로 문제에 적용한 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞선 K와 다르게 병렬적인 형태의 개념 나열이 아닌 단진자를 중심으로 한 운동학 관련 역학개념을

적용하여 최종적으로 단진자의 움직임 및 길이를 계산해 내는 문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. J 역시 처음 문제를 만드는 과정에서 되도록 현실적인 수치를 이용하여 문제를 만들었으나, 이후 3단계인 숫자 조정의 단계에서 처음 정한 수치를 기준으로 되도록 계산이 편한 값으로 조정하는 것을 확인할 수 있었다.

세 번째로, J는 10, 11주에 매우 특이한 유형의 역학문제를 만든 것을 확인할 수 있었다. J가 10주와 11주에 걸쳐 만든 문제는 [그림 4-44]과 같다.



[그림 4-44] J의 사고 실험형 역학문제(10주차: 왼쪽, 11주차: 오른쪽)

먼저 10주차에 선운동량 보존과 관련하여 여러 충돌상황 중 로켓이 합쳐지는 상황을 가정하여 만든 역학문제에서는 지금까지 문제와는 매우 다른 방식으로 문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 앞서 J는 실험으로써 어느 정도 구현이 가능한 구체적인 문제 상황을 중심으로 역학문제를 설계하였다면, 10주차에 만든 역학문제에서는 관련하여 미지의 물질(Unknown Material)을 정의하고 이를 중심으로 문제를 구성하였으며, 이후 회전운동과 관련된 11주차의 문제에서도 다른 역학을 하지만 동일한 미지의 물질을 중심으로 역학문제를 구성하는 것을 확인할 수 있었

고, 11주차에 만든 문제를 자신이 가장 잘 만들었다고 생각하고 있었다. J는 미지의 물질은 로켓이 자신의 연료로 가속되는 동안에는 작용하지 않다가, 행성 A의 근처에서 로켓의 운동 방향의 반대 방향으로 일정한 비율로 로켓의 속력을 줄여주는 역할을 하는 물질로 정의하였다. 관련한 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: ‘실제로는 불가능한 조건이 몇 가지 추가됐다.’고 했는데…. 문제에…. 어떤 것들이라는 거지? 여기서?

면담자: 미지의 물질층이… ‘Unknown Material’이 특성이… 이 물체가 가지고 있는 특성이… 지금 가속되고 있으면… 가속되고, 영향을 주지 않는데, 이제 가속도가 0이 되는 순간 정지시켜 버리잖아요? 특수한 장치죠…
어떻게 보면….

연구자: 일반적인 충격흡수장치하고 또 다르네? 굳이 이렇게까지 설정했던 이유는?

면담자: 제가 의도했던 거는… 뭐 적당한 반대 방향으로 가속도를… 저항을 가한다던가… 하는 식으로 했으면, 그냥 편하게 문제를 만들 수 있었을 텐데, 그러면 이제 계산이 한 번 더 들어가니까요? 그래서 특히 이때는 공기저항을 배운 다음이라서, 그냥 무작정 하면은… 배운 내용인데, 거를 안 넣고 쓰는 거는… 정확도가 좀 떨어지는 거 같기도 하고, 그래서 그냥 아예 연료가 다 떨어지면, 그냥 정지시키는 식으로 하려고 했는데, 그러면 특수한 조건을 정해야 하는데….

연구자: 그래서 본인의 출제 의도와 맞게 실제로는 존재하지 않는 일종의 가상의 어떤? 대기층을 만들어 놓은 거네? 문제 상황에?

면담자: 이후로 이제 이게 되게 많이 나오기 시작했죠.

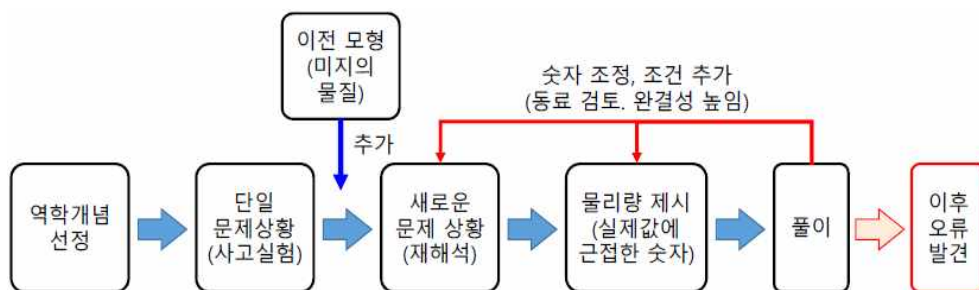
연구자: 아~ 그래? 이게 굉장히 매력적이었나 보네?

면담자: 예. 그동안은 제가 굉장히 많은 상황을 가정해야 되고, 했었는데… 이 제 이것만 나오면 다 해결되니까… 제가 하고 싶은….

연구자: 일종의 어떻게 보면… 뭐라고 그래야 돼? 문제를 문제답게 완성해주는… 약간의 빈틈을 채워주는 역할을 하는 거?

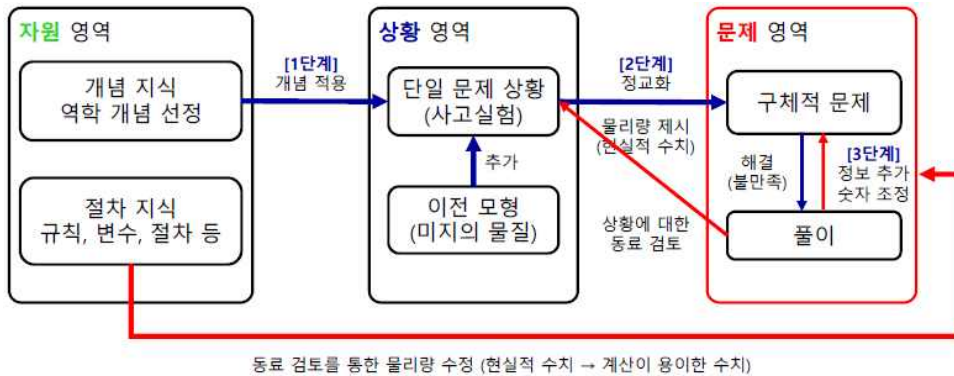
면담자: 예. 그동안은 제가 뻑뻑하게 다 채워야 있으면, 애는 이제 다 메꿔 주는 거죠.

즉 J는 11주차 문제에서 이러한 미지의 물질을 이용하여 각각 회전 운동하는 물체가 미지의 물질층을 지나면서 감속하며, 이러한 감속의 비율이 이 물질층을 가열하는 시간과 관계되는 역학문제를 만들었다는 점이다. 이는 미지의 물질층에 조건을 추가하여 회전운동 상황에 적용하는 것으로 역학문제를 구성하였다. J의 세 번째 유형에서 역학문제를 만드는 순서를 도식화하면 [그림 4-45]와 같다.



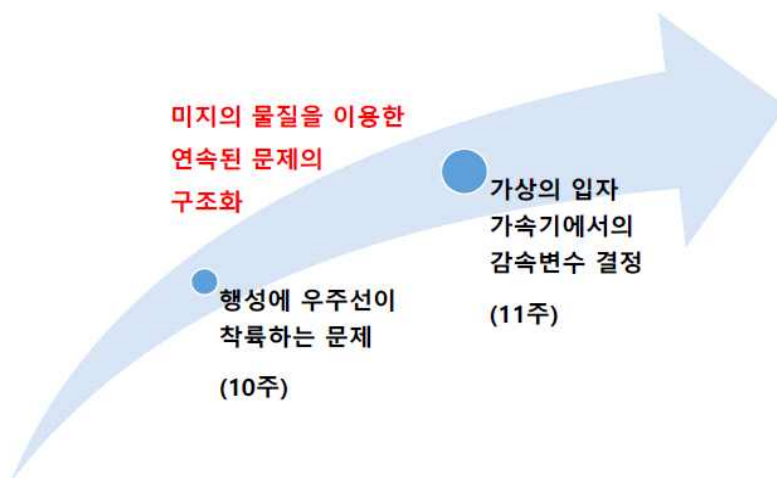
[그림 4-45] J의 역학문제 구조화 순서(세 번째 유형)

J는 자신의 역학문제를 만드는 과정에서 매우 다양한 구조화 방법을 시도하였으며, 이를 통해서 자신이 만족할 만큼의 완성도와 복잡도를 가진 역학문제를 만들기 위해서 노력하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, J는 자신이 만든 역학문제에 대해서 스스로 끊임없이 검토를 통한 확인 과정을 거치는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 J의 구조화 과정을 [그림 2-3]에 근거하여 자원, 상황, 문제 영역을 중심으로 도식화하면 [그림 4-46]과 같다.



[그림 4-46] J의 역학문제 구조화 과정(세 번째 유형)

[그림 4-46]에서 드러나듯이, J는 자신이 매력적으로 느낀 ‘미지의 물질’이라는 모형을 다시 사용하여 좀 더 확장된 비구조화된 문제를 만드는 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 H가 ‘시계’라는 구체적 상황을 중심으로 문제를 발전시켜 나가는 것과는 다른 형태이지만, 보다 역학 개념을 중심으로 본인 스스로 만들어 낸 모형을 중심으로 새로운 문제를 만들어 내는 것을 확인할 수 있었다. 관련하여 J의 10, 11주 동안 연속적인 역학문제 만들기의 구조화 과정을 나타내면 [그림 4-47]과 같다.



J의 경우 완성도를 높이기 위해서 자신이 만든 문제를 끊임없이 검토하는 과정을 통해 잘 정의된 초기 조건, 알려진 최종 상태, 실제 값에 근거한 변인 설정 등 잘구조화된 문제에서 나타나는 요소들이 드러나고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 특정한 답을 산출하는 과정에서 가능한 답에 대한 평가 및 개념 법칙과 약한 연결과 같은 비구조화된 문제와 관련된 요소들이 나타나는 것 역시 확인할 수 있었다. 반면 J는 다른 면담자들과는 다른 비구조화된 문제에서 드러나는 요소를 확인할 수 있었다. 앞서 P, H, K는 모두 자신이 만든 문제와 답에 대해서 배타적인 태도로 자신의 문제를 스스로 검토하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 J는 역학문제 만들기 초반에는 다른 면담자들과 유사한 배타적인 태도로 자신의 문제를 스스로 검토하는 방식을 선택하였으나, 이후 자신의 문제를 다른 친구들에게 보여주면서 검토를 받는 허용적 태도로 변화하였음을 확인할 수 있었다. 이는 J가 가지는 완벽주의적인 성향이 원인이라고 예상된다. 즉, J는 역학 개념에 대한 이해 및 적용에서 어느 정도 확신이 있다고 생각되는 역학문제에 대해서는 스스로 문제를 검토하는 반면, 회전운동과 관련된 개념에 대한 이해 및 적용에서 어려움을 느끼는 경우, 관련 문제에 대한 완성도를 높이기 위해 다른 사람에게 자신의 문제를 보여주는 허용적 태도를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 J의 자신의 문제에 대한 평가 방식은 앞선 K와는 다르다고 할 수 있다.

3) J가 역학문제 만들기 활동을 통해서 경험한 인지적, 정서적 변화

연구 참여자 J는 4명의 심층 면담자 중 가장 독특한 사례였다. P는 프로그래밍 분야를 전공으로 하고 싶은 학생으로, 원래는 물리 분야를 매우 좋아하여 관련 서적도 많이 읽었으나, 그 과정에서 복잡한 계산이 부담스러워 이를 컴퓨터를 통해 해결하는 과정에서 자연스럽게 프로그래밍에 관심을 가지게 되었다고 하였다. 또한, 물리를 좋아하는 이유로는 다

른 과학 과목과 비교하면 외우는 것보다는 계산을 통한 예측을 할 수 있기 때문이라고 응답하였다. 따라서 물리에 대한 흥미도는 일관되게 4점 (흥미있다)으로 응답하였다. 반면 이해도에서는 중간고사를 기점으로 3 (중위권)점에서 2(중하위권)으로 낮춰 응답하였는데, 이에 대한 이유로는 객관적인 물리 석차를 기준으로 평가했다고 응답하였다. 이러한 물리 개념에 대한 자신감의 부족이 자신의 진로 선택에도 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 이에 대한 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 전체적으로 제일 처음에 체크하는 물리의 혹은 역학에 대한 흥미도 다음에 이해도는 ‘흥미 있다.’ 완전 ‘매우 흥미 있다.’는 아니고 그치? 다음에 이해도가 중위권에서 5월 이후로 좀 내려갔더라고...

면담자: 제 시험 성적으로 차마 중위권이라고 할 수 없어서...

연구자: 본인이 생각했을 때 어때? 물리나... 과학 중에서도 물리에 대한 흥미도 나 이런 것들이?

면담자: 저는 과학 4과목 중에서도 물리가... 물리를 제일 좋아합니다.

연구자: 혹시 이유가 있을까?

면담자: 물리는... 사실 다른 과목은 개념을 이용해서 외우는 게 더 많이 많습니까? 그런데 물리는 그런 거 보다는 계산이 더 많은데... 계산을 해서... 예상을... 어떻게 될지... 아니면 그런 것들에 대해서 예측을 하는 그런 걸 제가 되게 좋아해서...

(중략)

연구자: 혹시 앞으로 어느 쪽으로 진로를 생각하고 있어?

면담자: 일단은... 컴퓨터... 정보 쪽으로 가고 싶은데... 물리 쪽을 이용할 수도 있는데... 명확하게 뭐다... 이렇게 정해지긴 했는데... 추가적으로 바뀔 수도 있으니까...

연구자: 지금 현 상황으로는 컴퓨터 관련? 뭐 소프트웨어? 프로그래밍? 공학쪽으로... 그럼 그... 본인이 앞으로의 진로에서 물리 과목이 얼마만큼 영향을 줄 수 있다고 생각해? 앞으로 전공과 관련해서?

면담자: 일단 컴퓨터 자체를 시작하게 된 계기가... 어렸을 적에 물리를 조금 봤는데... 이게 계산이 너무 많으니까... 그래서 컴퓨터를 시작하게 된 게 물리 공부를 하기 시작한 그 다음이거든요. 어렸을 적 물리 책을 먼저 받고... 그리고 나서 컴퓨터로 어쨌든 시작한 계기이기도 하고 그래서...

연구자: 혹시 그럼 물리 관련된 전공이나 연구자... 이런 생각은 없었어?

면담자: 생각을 해봤는데... 이제 고등학교에 이제 올라오면서... 제가 할 수 있는 범주를 조금 벗어나기 시작하니까 쯤... 자신이 떨어졌다고 해야 하나?

한편 J는 자신이 만든 문제에 대한 완성도를 높이는 과정에서 자원 영역인 개념에 대한 이해가 많은 영향을 주고 있었는데, 개념의 이해가 높을수록 오히려 더 많은 시간을 들여 문제의 완성도를 높이고, 반대로 어려운 개념일수록 쉽게 문제를 만들고 마무리했지만, 본인 스스로 매우 불만족함을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 관련한 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 보면 문제를 쭉 만드는데 벌써 1시간 42분이면, 거의 100분 이상이 걸린 거잖아? 그러면 문제 아이디어를 이렇게 한 거랑, 풀이 하고, 다시 숫자 조정해서 풀이까지 쓰는데 각각 얼마 정도 시간을 배분하는 것 같아? 문제를 세팅하고, 숫자 조정하고, 다음에 마지막 풀이 완성하는데 까지? 100%라고 치면?

면담자: 적어도 40분 정도가 문제 만드는 데... 그리고 숫자 비우고 적당히 어떤 걸 구하게 할 건지... 풀이를 만들어서... 하는 게 한... 30에서 40분 걸리고... 하면 80분이잖아요? 이제 나머지는 이제 검토를... 내가 아무리 그렇게 해도 제가 실수를 하니까요. 중간에...

연구자: 처음부터 끝까지 한번 보면서 다시 한 번 확인 한 작업이... 한 40%, 40%, 나머지 20% 검토... 그럼 거의 문제 만든 시간이랑 풀이 만든 시간이 거의 비슷하지 정도네?

면담자: 왜냐하면...

연구자: 혹시 이유가 있어?

면담자: 아무리 상황을 잘 만들어도... 제가 풀 수 있는 정도가 돼야지, 제가 문제를 만들잖아요... 풀 수 있는 문제 만들어야지... 그래서 이 문제를 보고 딱 처음에 떠오르는 게... ‘바로 알 수 있는가?’하는... 제가 못 풀면 의미가 없잖아요.

(중략)

연구자: 굉장히 불만족스럽겠네? 몇 분 정도 걸렸어? 이걸?

면담자: 제가 시간을 안 적어 왔는데..., 이거 자체를 만드는 데는 10분에서 20분 밖에 안 걸렸어요. 되게 안 걸렸어요. 그래서... 너무 불편했거든요.

연구자: 어떤 부분이 좀 불편했어? 문제를 만들 때?

면담자: 제가 원하는 대로 상황이 구성을 해서 풀 수가 없으니까요...

연구자: 그럼 원래 원했던 상황은?

면담자: 애가 중력이 적용되는데도 등속원운동 하려면, 어떤 구간에서 얼마나 어떤... 애가 등속원운동을 하려면...

연구자: 연직면 상에서 중력이 작용하면서, 등속 운동을 할 수 있는 상황이 존재할까?

면담자: 그러려면 특정구간에서 힘을 주든지 해야겠죠. 적어도 어느 부분에서는 힘을 줄 수 없고, 어디서부터 통제권을 가지고 있을 때, 여기서 힘을 어떻게 줘야 하는 가에 대해서 문제를 만들려고 했는데... 어렵습니다.

J는 역학문제는 만드는 과정에서 다양한 유형의 역학문제 만들기를 시도하였고, 이를 통해서 역학 개념학습뿐만 아니라 정의적 측면에서도 많은 변화가 있었음을 확인할 수 있었다. 다른 면담들과는 다르게 J는 문제 만들기 활동을 통해서 자신이 부족한 부분을 확인하고 이에 대해 보완을 할 수 있으므로, 잘 구조화된 문제를 푸는 것보다 선행되어야 한다고 언급하였다. 반면 J는 이러한 문제 만들기 활동이 다른 과목에는 적합하지 않다고 하였는데, 특히 화학은 개념에 대한 이해가 안 되는 부분도 많고 물질마다 수치가 다르기 때문에 계산에 대한 부담감으로 이러한 문제 만들기 활동이 부적절하다고 하였다. 관련된 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 잘 만들어진 문제를 많이 푸는 거랑, 어렵더라도 내가 문제를 이런 형태로 문제를 만들어 가면서 공부를 하는 거랑 어느 게 더 도움이 되는 거 같아? 본인한테? 솔직하게?

면담자: 사실 이거를 한 뒤에 문제를 푸는 걸 해야겠죠. 왜냐하면 이거는 제가 어떤 부분이 이해가 안 됐는지, 안 되고 있는지, 또 제가 뭘 더 공부해야 되고, 어느 정도 공부가 됐는지를 알려 주는 거 같으니까요. 이 문제를 큰 문제 하나 만들어서 개념을 전체적으로 다 복습을 하는 셈이라

서... 전 이거 한 다음에 물론 문제랑 같이 연동이... 문제 푸는 거랑 같이 연동이 돼야지요.

연구자: 바뀌서 하면 안 돼? 먼저 문제 푸는 연습을 조금 더 많이 숙달한 다음에, 어느 정도 문제에 대해서 좀 익숙해지고 난 다음에, 문제 만들기 하는 거는 오히려 도움이 안 되나?

면담자: 그게... 문제 풀기를 먼저 하게 되면, 이제 문제들 어떤 영역에서 많이 틀리잖아요? 그럼 그분이 지금 제가 문제를 많이 틀리니까 이제 여기가 약한 부분인데... 약한 부분으로는 문제를 제가 만들 수 없잖아요? 그래서 제가 어디가 약한지 보고, 그 부분을 먼저 풀면, 두 번에 그것만으로 해결되는데, 만약에 문제를 먼저 풀게 되면, 문제를 풀고, 약한 부분을 확인하고, 그걸 문제 풀기? 문제 만들기 연습을 하고 다시 문제를 풀어야 되잖아요?

연구자: 한 번 더 갔다 오는 과정이 필요한 거구나. 물리는 이렇게 하는데 혹시 다른 과목 예도 이런 방식을 좀 도입하는 편인가?

면담자: 화학은 그걸 못합니다.

연구자: 화학은? 이유가?

면담자: 화학은 이해가 안 되는 게 너무 많고... 물질마다 다 다르고 수치도 사실 깨끗한 편이 아니고...

한편 11주차 역학문제에서 J는 새로운 평가 방식을 택하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 역학문제를 만드는 과정에서 J는 다른 동료과 문제를 공유하지 않고 자체적으로 문제를 평가해서 수정하는 방식이 아닌, 자신보다 역학 개념에 대한 이해도가 높다고 판단되는 다른 친구들에게 자신이 만든 역학문제를 검토하는 방식을 택하였다. 이러한 검토과정을 통해서 역학문제의 완성도를 높이기 위해서 노력했으나, 풀이과정에서 조화수열과 유사한 계산에서 절차 지식의 한계로 인해 공학용 계산기를 활용하였으며, 이에 대해서 스스로 해결하지 못한 아쉬움을 느끼는 것을 확인할 수 있었다. 또한, J는 이 문제 상황에서 스스로 오류를 발견해 내고, 이를 해결하는 과정이 자신이 지금 가진 개념 및 절차 지식의 한계로 인해서 해결하지 못했지만 언젠가는 꼭 해결할 수 있다고 확신하였

다. 즉, J는 자신이 만든 역학문제에 대해서도 계속해서 검토하면서 보다 완벽하게 구조화시키려는 경향성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 다른 심층 면담자에게서 드러나지 않은 J만의 특성으로 비구조화된 문제에서 특정한 답을 산출하고 선택하는 과정에서 평가와 관련한 비인지적 요소인 타인에 대한 허용적인 태도가 드러난 사례라고 할 수 있다. 이와 관련된 J의 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 이제부터는 친구들한테 좀 검토를 해달라고 했네?

면담자: 예. 그래서 그걸로 이제 오류 같은 것도 고치고 해서...

연구자: 그래서 누가 해 준 거야?

면담자: 이진 000의 도움을 받았습니다.

연구자: 000? 아~ 여기서 써져있구나.

(중략)

연구자: 어떤 부분이 좀 마음에 안 들었어?

면담자: 이제는..., 이제는 풀 수 있을 거예요. 이제는 이런 등비수열? 등비수열이라고 하기도 뭐하지만..., 등차수열이 분모에 가게 되어 있는... 수열의 합 같은 거를 이제는 어느 정도 배우게 될 거니까요...

연구자: 여기서 여기로 넘어갈 때, 풀기는 푼 것 같은데?

면담자: 예. 이게 어떻게 가능했냐 하면은요..., 솔직히 말해서 이 부분에 대해서 이야기 할게 있습니다. 이거는 계산기에 시그마가 있더라고요. 제 근처에 아무도 푸는 방법을 몰라서 어쩔 수 없이 계산기를 써야 했는데..., 그게 조금 아쉽습니다. 제가 숫자를 맞췄으면 어떻게 이게 10의 배수가 되었으면 풀 수 있었을 텐데 말이죠.

연구자: 2에서부터 15까지..., i 여기다가 넣는 거지? 근데 공학용계산기에 넣으니까 답이 바로 나와?

면담자: 예.

(중략)

면담자: ‘두 개가 다 힘 받을 때, 아니면 한 개가 힘 받을 때를 따로 고려한 건가?’했는데, 이게 제가 계산 할 때는 이게 a 아니면 b가 둘 중에 하나만 힘을 받을 때로 되게 계산을 했거든요. 제 최초의 생각을 했을 때는요. 이게 지금 오류가 발견됐는데, 이렇게 푸는 게 틀렸다는 것을 제가 알게 됐어요.

연구자: 어느 부분이 오류가 생겼어?

면담자: 근데... 이제 제가 생각했던 대로 움직이지 않을 수 있어요. 이게 제가 생각한 대로 이게 들어갔다가 나오는 이게 점점 빨라지는 거 맞는데...

연구자: 다시 되돌아오는?

면담자: 예. 운동 그래프 그려 보면, 이제 속도가 점점 작아지고 당연히 그렇기 때문에 이제 나오는 탈출 속도는 점점 빨라지는데, 제가 처음에 생각했을 때는 돌입 속도가 있으면, 그 속도로 다시 튀어 나올 때는 영역에서 다시 나올 때는 들어가는 속도와 나오는 속도가 같아야 한다고 생각을 했거든요.

(중략)

연구자: 여태까지 보면 OO이가 자기가 만든 문제는... 쭉 느낌이 OO이는 자기가 만든 문제... 본인도 남의 것을 잘 안 배끼지만, 본인도 남한테 뭔가 자기 문제를 잘 공개하지 않았던 거 같거든? 여태까지...

면담자: 이게 왜 그러냐면요... 이제는 제가 오류를... 오류가 생겼을 때, 이제 좀 욕심이 생긴 게, ‘문제를 좀 더 완전하게 만들고 싶다.’는? 문제다운 문제를 만들고 싶다는 거죠. 근데 제가 공부를 하는 건데, 실질적으로 답이 없는 문제를 푸는 건 똑같잖아요? 답지가 없는 문제를 푸는 건 똑같은데... 그럼 제가 맞았는지 틀렸는지 알 수 없으니까... 진짜 공부가 되려면, 이제 확인을 받을 수 없게 된 거죠.

연구자: 본인이 만든 문제는 답지가 없으니까, 다른 친구들한테 물어보고, 확인을 좀 받아 보고 싶고... 그런데 그 앞에는 그거에 대한? 자기가 푼 거에 대한 확신 굉장히 강했잖아?

면담자: 예. 그때는 어느 정도 있었는데... 이제 이런 게 추가되다 보니까, 제가 임의로 추가 한 성질 같은 게 붙다 보니까... 이제 앞에 복잡했던 장치들이 이걸로 대체가 된 거니까... 근데 앞에서는 역학의 여러 가지 상호작용으로 이렇게 어떻게든 만들 수 있었는데... 애는 미지의 물질이 나오는 순간부터 좀 그 양상이 좀 바뀌기 시작한 거 같습니다.

(중략)

연구자: 그게 OO이가 지금도 이걸 고민하는 편인가? 문득 문득? 이 문제에 대해서?

면담자: 적분 같은 거 공부할 때면, 어떻게 해결 방법을 찾을 수 있을까?

연구자: 계속 고민... 어디 내 머리 어딘가는 남아 있는 거네. 이 문제야? 만족스럽게... 본인이 만족스럽게 해결은 안 됐고, 혹시라도 이제 수업 시간에 뭔가 배우게 되면 어떻게 저걸 풀 수 있을까? 계속해서 또 시도해

볼 거네? 앞으로도 해 볼 건가?

면담자: 언젠가는 제대로 된 답을 내고 싶어요.

J의 경우 역학문제 만들기 활동이 자신의 역학 개념 이해에 있어서 긍정적인 효과를 많이 미쳤다고 하였다. 특히 앞선 문제와 같이 자신이 만든 문제를 해결하는 과정에서 기존의 문제를 해결하는 것과는 다른 재미를 느낄 수 있었다고 하였다. 관련한 J의 면담 내용은 다음과 같다.

연구자: 자신이 만든 문제 장점에 대해서... 장점은 ‘풀이가 너무 단순하지 않아서 푸는 재미가 있다.’

면담자: 이게... 제가 이거 문제 만들면서, 정말 이거를 이런 형태로 만드는 거 멈출 수 없는 이유이기도 합니다. 재미있습니다.

연구자: 어~ 어떤? 조금 더 구체적으로 얘기해 줄 수 있을까? 푸는 재미가 있다는 것이?

면담자: 굉장히... 무진장 이렇게... 되게 높아 보여도 이게... 실제로는 긴 문제 일수록 그만큼 해답을 얻을 수 있는 점도 되게 많거든요. 왜냐하면 많은 정보를 제공하는 거니까.

V. 결론

V.1. 결론 및 시사점

인간과 ‘알파고(AlphaGO)’의 바둑 대결에서 ‘알파고’의 승리는 인공지능을 통한 문제해결 능력이 어느새 인간의 문제해결 능력을 위협하는 수준에 도달하였음을 말해주고 있다. 다가오는 미래는 인공지능 기반의 컴퓨터가 해낼 수 없고, 인간만이 할 수 있는 고유한 능력을 요구하는 시대가 될 것이다. 컴퓨터가 외부로부터 주어진 문제를 해결하는 방법을 탐색하는 과정에 집중하는 것과 달리, 주변 정보에서 문제를 발견하고 이를 해결 가능한 형태로 구조화하는 능력은 인간만이 가진 고유한 능력이라고 할 수 있다. 주목하는 문제 상황을 자신이 알고 있는 지식을 활용하여 해결 가능한 문제로 구조화하는 작업은 과학 활동의 출발점인 문제의 발견과 정교화의 과정과 연관성이 높다. 그러나 이러한 학습자에 의한 문제의 구조화 과정에 관한 연구는 과학교육 분야에서 아직 부족한 실정이다. 지금까지 물리 문제해결과 관련된 연구들은 전문가(expert)와 초보자(novice)의 문제해결과정 비교가 주를 이루었다(Larkin *et al.*, 1980; Singh, 2002; Milbourne, & Bennett, 2017). 이러한 연구들은 이미 잘 구조화된 문제에 대한 해결 과정을 탐색하기 때문에 문제 풀이자는 고정된 지식 구조와 절차의 사용으로 실제 세계의 문제 상황에 대한 해결에서의 어려움을 경험하게 된다. 이러한 고정된 지식의 구조로 인한 인지적 고착화를 해소하기 위해서는 비구조화된 문제에 직면이 중요하다(Schank, 1982).

본 연구는 역학문제 만들기 활동을 통해서 과학고등학교 학생들의 역학문제에서 드러나는 특징을 살펴보기 위해서 역학문제를 만드는 과정에서 영향을 주는 요인들 사이의 상관관계, 학생들이 만든 문제에서 등장

하는 물리량들과 완성도 및 복잡도 사이의 관계, 자신들이 만든 역학문제에 대한 완성도와 복잡도를 판단하는 근거에 대해 분석해보았다. 이후 심층 면담을 바탕으로 학생들이 이러한 역학문제 만들기 활동을 통하여 어떻게 역학 개념 적용하여 문제를 구조화하며, 이 과정에서 어떠한 인지적·정서적 변화를 경험하는지를 심층적으로 살펴보는 데에 그 목적이 있다. 본 연구의 결과를 종합한 도출한 결론은 다음과 같다.

우선 과학고등학교 학생들이 구조화한 역학문제에서 드러나는 특징은 다음과 같다. 첫째, 과학고등학교 학생들의 반복적인 역학문제 만들기 활동에서 흥미도, 이해도, 완성도는 통계적으로 유의한 변화가 없었고, 걸린 시간, 복잡도에 있어서는 유의한 변화가 있었음을 확인할 수 있었다. 따라서 학생들은 일정 수준 이상의 역학에 대한 흥미 및 이해도를 바탕으로 역학문제를 만들고 있으며, 자신이 만든 역학문제에 대해서 보통이상의 높은 완성도를 가지고 있다고 스스로 판단하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 Renzulli & Reis(1994)의 연구에서 언급한 과학영재 학생들에게서 드러나는 높은 과제 집착력과 높은 수준의 동기, 그리고 자신이 설정한 목표를 달성할 수 있도록 계획하는 능력 등에 의한 효과라고 할 수 있다. 각각의 변인들 간의 상관분석에서는 풀이자 연구와 유사하게 걸린 시간을 제외한 다른 변인들 사이에 정(+)의 상관관계를 확인할 수 있었다. 그러나 걸린 시간과 이해도 사이에는 음(-)의 상관관계를 확인할 수 있었다. 각 변인들의 사이의 단일 변인 간 회귀분석 결과 흥미도-완성도, 이해도-완성도, 이해도-복잡도 사이에 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 반면 복수 변인 간 회귀 분석 결과 이해도는 완성도와 복잡도에 정(+)의 영향을 미치는 반면, 흥미도는 완성도와 복잡도에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못함을 확인할 수 있었다. 마지막으로 단계별 회귀분석 결과, 흥미도와 완성

도 사이에 이해도가 두 변인을 완전 매개함을 확인할 수 있었다. 한편 연구 참여자들이 만든 역학문제를 중심으로 한 빈도 분석에서는 연구 참여자는 역학문제를 만드는 과정에서 역학의 기본 차원인 ‘질량’, ‘시간’, ‘길이’를 중심으로 역학문제를 구조화하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 기본 차원 물리량을 중심으로 연구 참여자들은 주로 ‘속도’, ‘질량 중심’, ‘회전운동을 기술하기 위한 회전 변수’를 구하는 문제를 많이 만들고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 연구 참여자들은 역학문제를 만드는 과정에서 숫자보다 문자로 문제를 만드는 경우, 자신의 역학문제에 대한 완성도와 복잡도가 높다고 판단하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 역학문제들에 영향을 미치는 여러 요인 및 물리량들 사이의 연관관계 및 문제제작자의 인식은 다양한 관점에서 물리교육적 논의가 가능하다.

둘째, 연구 참여자들이 작성한 기술 문항에 대한 텍스트 네트워크 분석 결과, 본 연구자가 진행했던 수업과 관련된 ‘선운동량’, ‘회전’, ‘보존’ 등의 단어가 문제 상황과 적용 개념에서 등장하는 것을 확인할 수 있었다. 단순화·추상화와 관련하여 풀이자 조사와 비슷한 ‘무시’, ‘공기’, ‘저항’ 등의 단어 이외에 ‘두께’, ‘일정’과 같은 강체와 관련된 역학문제 상황에서 주로 등장하는 단어들이 추가로 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 연구 참여자들이 스스로 판단하는 완성도와 복잡도 관련한 문장에서는 완성도는 ‘문제’, ‘풀이’라는 단어를 중심으로 완성도에 대한 서술을 하였으며, 복잡도와 관련해서는 ‘개념’, ‘보존’과 같은 개념 지식적 단어와 ‘계산’과 같은 절차 지식적 단어들이 별도의 네트워크를 구성하는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 이러한 역학문제 만들기 활동이 연구 참여자의 물리 학습에 미친 영향에 대한 서술에서는 ‘복습’, ‘문제’, ‘생각’과 같은 단어들을 등장하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통해서 역학문제 만들기 활동이 학습자들이 알고 있는 개념을 중심으로 자신이

구성한 문제 상황에 적용하여 풀이하는 과정에서 유의미한 인지적 경험을 하고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 역학문제 만들기 활동을 통해서 학습자는 자신이 가지고 있는 개념적 지식을 자신이 주목하고 있는 상황에 적용하여 해석할 수 있도록 촉진할 수 있다는 점에서 물리교육적으로 많은 시사점을 제공할 것이라고 생각한다.

셋째, 연구 참여자들은 역학문제에서 몇 가지 특징이 존재함을 확인할 수 있었다. 우선 연구 참여자들이 작성한 ‘역학문제 만들기’ 활동일지 중 완성도와 복잡도가 가장 높다고 판단한 문항에서는 자신이 알고 있는 개념 지식 및 절차 지식을 실생활에서 경험했던 문제 상황에 적용하여 문제를 만드는 과정에서 문자를 중심으로 역학문제를 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 기존의 역학문제를 참고하여 역학문제를 구조화하는 학생은 자신의 경험과 무관한 탈상황적 문제 상황을 중심으로 개념을 확인하기 위하여 절차적 지식의 부담을 줄인 단순 계산 형태의 역학문제를 주로 구조화하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 자신이 만드는 문제에 대한 풀이에서는 비구조화된 문제에서 드러나는 개념과 법칙, 개념과 문제 상황 사이의 불연속적인 관계, 개념 법칙과의 약한 연결, 조건의 불명확성 등을 확인할 수 있었다. 이처럼 학습자의 역학문제 만들기 활동일지를 통해서 학습자의 개념 적용 및 문제 구조화 유형에서 드러나는 학생의 특징을 파악할 수 있다. 또한, 학습자 스스로 만든 문제와 풀이에서는 잘구조화된 문제가 가지는 요소뿐만 아니라 비구조화된 문제가 가지는 요소 역시 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 교수자는 학습자에 대한 적절한 교수·학습적 전략을 세울 수 있기 때문에, 역학문제 만들기 활동은 학습자들이 역학 개념을 이해하고 적용하기 위한 의미 있는 방법이 될 것이라 예상된다.

한편 과학고등학교 학생들이 역학문제를 구조화하는 과정에서 드러나는 특징은 다음과 같다. 첫째, 연구 참여자들은 공통적으로 ‘개념 적용’, ‘단순화(혹은 구체화)’, ‘풀이를 통한 문제 수정’의 3단계를 거쳐 자신의 역학문제를 완성하는 것을 확인할 수 있었다. 먼저 개념 적용과정에서는 상황 영역과 자원 영역을 중심으로 두 가지 적용과정을 확인할 수 있었다. 대부분의 연구 참여자는 자신이 만들고자 하는 역학개념을 먼저 선정한 뒤, 이를 적용할 수 있는 문제 상황을 선정하는 과정을 거쳤으나, 몇몇의 경우에는 반대로 문제 상황을 먼저 선정한 뒤, 이 상황에 자신이 알고 있는 개념을 적용하여 문제 상황을 단순화시키는 경우도 확인할 수 있었다. 역학 개념을 중심으로 문제 상황을 선정하는 경우 정해진 역학 개념을 중심으로 역학문제가 완성이 된 후 동일한 문제 상황이 다시 등장하지 않는 반면, 상황을 중심으로 역학 개념을 선정하는 경우 자신이 정한 상황에 대해서 여러 역학 개념을 적용하여 연속되는 문제를 만들어 가는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 역학 개념을 중심으로 문제 상황을 선정하는 경우 문제 상황을 적용하고자 하는 역학 개념에 맞춰 단순화시키는 과정이 일어나는 반면, 문제 상황을 중심으로 역학 개념을 선정하는 경우는 단순화하는 과정에서 문제 제작자가 불만족함을 경험하고 연속적인 다른 개념을 적용한 문제 만들기 과정을 통해 보다 구체화시켜가려고 하는 경향을 확인할 수 있었다. 이후 자신이 만든 문제에 대한 일차적인 풀이는 즉각적으로 일어나는 반면, 그 과정에서 문제의 변인을 수정하거나 조건을 추가하는 과정을 통해서 자신의 문제의 완성도를 높이는 역동적인 과정을 보여주었다. 이 과정에서 문제 제작자인 학생은 실제 상황에 가까운 수치와 계산이 편한 수치 사이에서 일종의 갈등을 경험하는 것을 확인할 수 있었다. 우선 역학문제에 제시되는 물리량을 숫자와 문자로 제시하는 과정에서 이러한 종류의 갈등을 경험하고 있었

으며, 일차적인 문제를 만드는 과정에서 숫자를 선택한 문제 제작자는 되도록 실제 상황에 가까운 수치를 제시하여 역학문제를 만들었으며, 이후 풀이를 완성하는 과정에서 계산의 복잡함으로 인하여 처음 제시한 수치를 기준으로 계산이 편한 수치로 수정하는 과정을 거치면서 자신의 문제에 대한 완성도를 높였다고 생각하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제 제작자인 학습자의 개념 적용 및 구조화 과정, 물리량의 제시 형태에 대한 인식은 보다 다양한 관점에서의 물리교육적 논의가 가능하다.

둘째, 자신이 알고 있는 역학 개념과 절차적 지식을 바탕으로 스스로 역학문제를 구조화해보고 이에 대한 풀이를 해보는 활동은 학습자가 중심이 되어 적극적으로 역학 개념을 적용해보는 유의미한 활동이라고 할 수 있다. 따라서 학습자가 자신의 인지적 능력을 벗어나는 문제를 해결하지 못해 겪는 좌절감으로 인한 역학에 대한 자신감이나 흥미도 저하를 해결할 수 있는 좋은 물리교육적 방법이 될 것으로 예상된다. 또한, 자신이 문제를 만드는 순간 해결하지 못했던 부분에 대해서는 이후 자원 영역에 해당하는 절차적 지식과 심화된 개념적 지식의 학습 동기를 촉진한다는 점에도 좋은 물리교육적 방법이 될 수 있을 것이다.

특정 영역에 관련된 문제를 해결하기 위해서는 추상적인 지식(abstract knowledge)가 실천적 경험(practical experience)의 두 가지 요인이 주로 작용한다(Didierjean & Cauzinille-Marmèche, 1998; Laurillard, 2002). 그런데 이 두 가지 요인 중 하나만 숙달되어도 전문가로서 인정받을 수 있다. 그러나 실천적 경험에 능숙한 사람은 자신에게 성공적이었던 절차에만 따라서 문제를 해결하므로 ‘정형화된 전문가(crystallized expertise)’가 될 확률이 높고, 실천적 경험으로 맥락화되지 않은 추상적인 지식에 숙달된 사람은 ‘비활성 지식(inert knowledge)’을 가진 전문가가 될 가능성이 높다(Whitehead, 1929). 물

리 분야에서 문제해결 전문가 역시 두 가지 가능성이 존재한다. 추상적 역학 개념에 대한 이해가 부족한 상태에서 실천적 경험으로 숙달된 ‘정형화된 전문가’와, 실천적 경험으로 맥락화되지 않은 추상적인 역학 개념만을 외우고 있는 ‘비활성 지식’을 가진 전문가가 가능할 수 있다. 이러한 간극을 좁히기 위해서 보다 역동적이고 구성적인 방식으로 문제를 접근하고 해결할 수 있는 ‘유연한 전문가(fluid expertise)’가 되기 위해서는 두 가지 요소가 모두 필요하다(Bereiter & Scardamalia, 1993). 역학문제 만들기 활동을 통해서 학습자는 자신이 알고 있는 추상적 지식의 범위 내에서 자신이 주목한 문제 상황을 문제로써 구조화해보는 실천적 경험을 하게 될 것이다. 따라서 이러한 역학문제 만들기 활동은 물리 분야에서 유연한 전문가가 되기 위한 좋은 물리교육적 시사점을 제공할 것으로 예상된다.

V.2. 제언 및 후속 연구 과제

본 연구에서는 문제 제작자인 학습자들이 자기 주도적으로 문제를 구성하는 활동을 통해서, 자신들이 알고 있는 개념을 어떻게 적용하여 문제를 구조화해가는 과정을 살펴보고자 했던 것이 연구의 출발점이었다. 이를 통해 학습자들은 더욱 능동적으로 자신이 이해하고 있는 역학 개념을 문제 상황에 적용해보고, 보다 심화된 역학 개념에 대한 학습 동기가 유발됨을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구는 기본적으로 과학에 대한 흥미와 자질이 높을 것이라 예상되는 과학고등학교 학생 중 연구에 동의한 참여자를 중심으로 한 연구이기에 일반화시키기에는 한계가 있다. 또한, 학생들이 판단하는 자신의 역학에 대한 흥미도와 이해도는 학업 성취도나 객관적인 개념이해 검사지의 검사 결과와 다를 수 있다. 아울러 본 연구의 결론과 한계점을 중심으로 관련된 후속 연구들은 다음과 같이 네 가지로 제안하고자 한다.

첫째, 역학 개념이 아닌 보다 다양한 개념에 대한 문제 구조화 과정에 대한 비교 분석이 요구된다. 학생들의 심층 면담 과정에서도 과학의 분야별로 문제를 구조화하는 과정에서 주목하는 부분이 다름을 확인할 수 있었다. 따라서 역학 및 전자기학과 관련된 개념체계뿐만 아니라 화학, 생명과학, 지구과학과 같은 다른 학문 영역을 중심으로 한 문제의 구조화 과정에 대한 비교 분석을 통해 학문 영역 간의 특성을 파악할 수 있는 또 다른 대안이 될 수 있을 것이다. 아울러 간학문적 문제 구조화 과정을 통해서 여러 과학적 개념들이 학습자 내부에서 어떻게 통합적으로 이해되고 있고, 이를 문제 상황에 어떻게 적용하는지 살펴보는 것은 과학교육에서 중요한 시사점을 제공할 것이라고 예상된다.

둘째, 문제 만들기를 통한 문제의 구조화와 탐구와의 연관성을 살펴보

는 연구가 필요하다. 역학 개념의 이해와 적용을 중심으로 한 문제의 구조화와 탐구 과정에서의 문제 발견에서 가설 설정까지의 단계 사이의 연관성은 지식 이해가 과학적 실천으로 구체화할 가능성을 확인한다는 점에서 중요한 의미가 있을 것으로 예상한다. 이를 바탕으로 현재 과학과 교육과정에서 새롭게 제안된 핵심역량인 과학적 사고력, 과학적 탐구능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습능력을 신장시킬 수 있는 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

셋째, 문제 제작자로서 학생뿐만 아니라 교사의 문제 구조화 및 개념 적용에 관한 연구가 요구된다. 문제 제작자로서 학생은 자신의 물리적 개념에 대한 이해 및 적용, 보다 심화된 개념에 대한 학습 동기의 유발로 이어지는 것을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다. 반면 교사는 자신들의 문제가 학습자에 대한 평가의 도구로 활용되기 때문에, 평가 도구의 신뢰도 및 완성도와 관련한 연구가 필요하다. 아울러 체계적인 과학 교사교육 과정을 통해서 예비 교사가 문제 구조화 과정에 의미 있는 경험이 이루어진다면, 교사의 전문성 신장을 위한 효과적인 대안이 될 수 있을 것이다.

마지막으로, 소집단 활동에서 학습자들 간의 상호작용을 통한 문제의 구조화에 관한 연구가 필요하다. 소집단 상호작용은 자신이 알고 있는 지식을 바탕으로 개념 간의 새로운 연결고리를 만들어 내면서(Roscoe & Chi, 2008), 이를 통한 활동이 학생들의 학습에 대한 성취와 밀접한 관계가 있음을 Webb, & Palincsar(1996)의 연구를 통해서 알 수 있다. 또한, 박준형(2018)의 연구에 따르면, 소집단 문제 해결 활동을 통해 학습자의 직관적 사고와 논리적 사고가 촉진됨을 확인할 수 있었다. 따라서 소집단에서 상호작용을 통해 학습자는 더욱 능동적인 개념학습 및 적용이 이루어질 것이라 예상된다.

【 참 고 문 헌 】

- 교육부. (2015). *2015 개정교육과정: 과학*. 서울: 교육부.
- 권재술, 이성왕. (1988). 물리 문제 해결 실패자(초심자)와 성공자(전문가)의 문제 해결과정에 관한 연구. *한국과학교육학회지*, 8(1), 43-56.
- 김민경, 이지영, 홍지연, & 주현정. (2013). 자료분석에 관한 비구조화된 문제해결모형 적용에서 나타난 초등학교 5학년 학생들의 의사결정에 관한 연구. *한국수학교육학회 학술발표논문집*, 2013(1), 81-92.
- 김성근, 여상인, & 우규환. (1999 a). 과학 수업에서의 학생 질문에 대한 연구 (I)-학생 질문을 강화한 수업의 효과. *한국과학교육학회지*, 19(3), 377-388.
- 김성근, 여상인, & 우규환. (1999 b). 과학 수업에서의 학생 질문에 대한 연구 (II)-학생 질문의 유형별 분석. *한국과학교육학회지*, 19(4), 560-569.
- 김익균. (1991). *대립개념의 증거적 비판 논의와 반성적 사고를 통한 대 학생의 힘과 가속도 개념변화*. 서울대학교 박사학위 논문.
- 류시경, 박종석. (2006). 낮게 구조화된 과학적 문제 상황에서 고등학생들의 문제발견 활동 분석. *한국과학교육학회지*, 26(6), 765-774.
- 박성익, 조영환. (2005). 문제의 구조화수준과 표면유사성이 유추전이에 미치는 효과. *아시아교육연구*, 6(2), 71-94.
- 박윤배. (1991). 역학문제해결에 있어서 오류 유형, *물리교육*, 9(1), 12-52.
- 박종원, 정병훈, 권성기, & 송진웅. (1998). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해 조사 I: 이상화의 의미와 특성을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 18(2), 209-219.
- 박준형, 송진웅 (2017). 열 현상에 대한 초등학생들의 문제해결 과정에서 나타나는 직관적 사고의 특징 발현의 맥락과 논리적 사고와의

- 관계를 중심으로. *한국과학교육학회지*, 37(2), 535-549.
- 박준형. (2018). 열 현상에 대한 초등학생의 문제해결 활동에서 나타나는 직관적 사고의 특징: 발현과 정교화 과정을 중심으로. (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).
- 박지연, 이경호. (2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지. *한국과학교육학회지*, 24(3), 621-637.
- 변태진. (2012). *House Model*을 이용한 학생들의 물리 문제 해결 과정에 대한 이해. (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).
- 배미정, & 김희백. (2010). 중등 과학영재 지도교사의 수업 전문성에 관한 사례연구. *한국과학교육학회지*, 30(4), 412-428.
- 서진수, 한신, 김형범, & 정진우 (2012). 과학고 학생들의 비구조화된 문제 해결 과정 특징 분석. *대한지구과학교육학회지*, 5(1), 8-19.
- 송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, & 박종원. (2004). *학생의 물리 오개념 지도*. 서울: 북스힐.
- 유은정, 이선경, 오필석, 신명경, & 김찬중. (2008). 중등 과학 수업의 참여구조 사례 연구: '혼성적 의미 창출 공간'의 형성 가능성 탐색. *한국과학교육학회지*, 28(6), 603-617.
- 이경호. (2007). 왜 학생들은 물리학을 어려워하는가?: 지식 신념틀을 이용한 물리학습의 어려움에 대한 구조적 분석을 향하여. *새물리 (Sae Mulli)*, 54(4), 284-295.
- 이명숙, 조광희, & 송진웅. (2004). 소집단 실험활동에서 나타난 중학생 질문-응답의 유형과 빈도. *한국과학교육학회지*, 24(2), 277-286.
- 이주현 (2007). *엔트로피 개념 이해의 특징과 어려움: 물리 전공 학생들의 문제 풀이 과정을 중심으로*. 서울대학교 석사학위논문.
- 이혜주 (2007). 구조화 정도가 다른 문제 상황에서 문제발견에 대한 제변인의 상대적 기여도에서의 남녀 차이. *아동학회지*, 28(1), 171-187.
- 정수인, 박종원. (2001). 갈릴레오의 자유낙하 사고실험에 대한 중학생

- 들의 사고과정 분석. *한국과학교육학회지*, 21(3), 566-579.
- 정영란, & 배재희. (2002). 질문 강화 수업이 중학생들의 질문 수준과
학업 성취도에 미치는 영향. *한국과학교육학회지*, 22(4),
872-881.
- 한원, 강유진, & 김지나. (2013). 비구조화된 과학적 문제 상황에서 고
등학생의 문제발견 및 문제해결 과정. *교사교육연구*, 52(2),
195-214.
- 홍미영, 박운배. (1995). 문제의 특성에 따른 대학생들의 화학문제 해결
과정의 차이 분석. *한국과학교육학회지*, 15(1), 80-91.
- Al-Diban, S. (2008). Progress in the diagnosis of mental models.
In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer, & J. M. Spector (Eds.),
*Understanding models for learning and instruction: Essays in
honor of Norbert M. Seel (pp. 81-102)*. New York:Springer.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: A
common core to pupils' preconceptions in science. *European
journal of science education*, 8(2), 155-171.
- Anderson, J. R. (1985). *Cognitive psychology and its implications*.
WH Freeman/Times Books/Henry Holt & Co.
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004).
Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of
physics and physics teaching. *Science Education*, 88(5),
683-706.
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator
variable distinction in social psychological research:
Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal
of personality and social psychology*, 51(6), 1173.
- Barrows, H. S., & Barrows. (1988). *The tutorial process*(2nd ed.).
Springfield, IL: Southern Illinois University School of
Medicine.

- Bassok, M. (2003). Analogical transfer in problem solving. In Janet E. Davidson & Robert J. Sternberg(Eds.), *The psychology of problem solving*, UK: Cambridge University Press.
- Bereiter, C., & Scardamalia, M. (1993). *Surpassing ourselves: An inquiry into the nature and implications of expertise*. Chicago: Open Court.
- Bransford, J. D., & Stein, B. S. (1984). *The IDEAL problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity*. NY: WH Freeman and Company.
- Brown, D. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: Factors influencing conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 17-34.
- Byun, T., Ha, S., & Lee, G. (2010). Toword understanding student difficulty in upper-level mechanics problem-solving processes. *The SNU Journal of Education Research*, 19, 145-165.
- Carter, M. (1988). Problem solving reconsidered: A pluralistic theory of problems. *College English*, 50(5), 551-565.
- Chang, E. Y. (2011). *Foundations of large-scale multimedia information management and retrieval: mathematics of perception*. Springer Science & Business Media.
- Chi, M. T., & Glaser, R. (1985). Problem solving ability. In R. J. Sternberg (ed), *Human abilities: an information processing approach*. New York: Freeman.
- Chi, M. T., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive science*, 5(2), 121-152.
- Chen, Z. (1996). Generating suggestions through document

- structure mapping. *Decision Support Systems*, 16(4), 297-314.
- Clement, J. (1982). Student's preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of research in science teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Cohen, M. (2008). *Wittgenstein's beetle and other classic thought experiments*. John Wiley & Sons.
- Corben, H., & Stehle, P. (1960). *Classical mechanics*. (2nd ed.). New York: Wiley
- Couger, J. D. (1995). *Creative Problem Solving and Opportunity Finding*. Danvers, Massachusetts: Boyd & Fraser Publishing Company.
- Csikszentmihalyi, M., & Getzels, J. W. (1970). Concern for discovery: An attitudinal component of creative production. *Journal of Personality*, 38, 91-105.
- Didierjean, A., & Cauzinille-Marmèche, M. (1998). Reasoning by analogy: Is it schema-mediated or case-based? *European Journal of Psychology of Education*, 13, 385-398.
- Driver, R. (1981). Pupils' alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3(1), 93-101.
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' Use of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations. *Physics Education*, 20(4), 171-76.
- Edmund T. W. (1904). *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*. Cambridge: Cambridge University Press
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol analysis: Verbal*

- reports as data*(revised ed.). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Eseryel, D., Ifenthaler, D., & Ge, X. (2013). Validation study of a method for assessing complex ill-structured problem solving by using causal representations. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 443-463.
- Fernandes, R., & Simon, H. A. (1999). A study of how individuals solve complex and ill-structured problems. *Policy Sciences*, 32(3), 225-245.
- Forjan, M., & Sliško, J. (2017). Simplifications and idealizations in high school physics in Mechanics: a study of Slovenian curriculum and textbooks. *European Journal of Physics Education*, 5(3), 20-31.
- Frederiksen, N. (1984). Implications of cognitive theory for instruction in problem solving. *Review of Educational Research*, 54(3), 363-407.
- Funke, J. (1991). Solving complex problems: Exploration and control of complex problems. In R. J. Sternberg & P. A. Frensch(Eds.), *Complex problem solving: Principles and mechanisms*(pp. 185-222). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gagné, R. M. (1970). *The conditions of learning (2nd ed.)*. Oxford, England: Holt, Rinehart & Winston.
- Gagné, E. D.(1985). *The cognitive psychology of school learning*. New York: HarperCollins College Publishers.
- Galili, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism. *International Journal of Science Education*, 17(3), 371-387.
- Gallagher, S. A., Stepien, W. J., Sher, B. T., & Workman, D. (1995), *Implementing Problem-Based Learning in Science*

- Classrooms, *School Science and Mathematics*, 95(3), 136-146.
- Gardner, R. W., Holzman, P. S., Klein, G. S., Linton, H. P., & Spence, D. P. (1959). Cognitive control: A study of individual consistencies in cognitive behavior. *Psychological Issues*, 1(4), 1-186.
- Gick, M. L. (1986). Problem-solving strategies. *Educational psychologist*, 21(1-2), 99-120.
- Greene, D., O'Callaghan, D., & Cunningham, P. (2014, September). How many topics? stability analysis for topic models. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*(pp. 498-513). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Greeno, J. (1978). Natures of problem-solving abilities. In W. Estes (Ed.), *Handbook of learning and cognitive processes* (pp. 239-270). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Griffiths, T. L., & Steyvers, M. (2004). Finding scientific topics. *Proceedings of the National academy of Sciences*, 101(suppl 1), 5228-5235.
- Hadzigeorgiou, Y. (1999). On Problem Situations and Science Learning. *School Science Review*, 81(294), 43-48.
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling theory in science education* (Vol. 24). Dordrecht: Springer.
- Hammer, D. (2000). Student resources for learning introductory physics. *American Journal of Physics*, 68(S1), S52-S59.
- Harper, K. A., Etkina, E., & Lin, Y. (2003). Encouraging and analyzing student questions in a large physics course: Meaningful patterns for instructors. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National*

- Association for Research in Science Teaching*, 40(8), 776-791.
- Hayes, J. R. (1989). *The Complete Problem Solver*(2nd ed.). Hillsdale: Lawrence Earlbaum Associates.
- Heller, K., & Heller, P. (1992). *The competent problem solver*. Minnesota: University of Minnesota.
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A Mechanics baseline test. *The Physic Teacher*, 30(3), 159-166.
- Heuvelen, A. v. (1991). Learning to think like a physics: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of Physics*, 59(10), 891-897.
- Hibbeler, R. C. (2010). *Engineering Mechanics: Statics*(12th ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1996). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT press.
- Hong, N. S. (1998). *The relationship between well-structured and ill-structured problem solving in multimedia simulation* (Doctoral dissertation, Pennsylvania State University).
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and III-structured problem-solving learning outcomes. *Educational technology research and development*, 45(1), 65-94.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational technology research and development*, 48(4), 63-85.
- Jonassen, D. H. (2004). *Learning to solve problems: An instructional design guide*. San Francisco: Pfeiffer.
- Joseph S. B. (1983). *Kinematics*. Taylor & Francis.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during

- scientific reasoning. *Cognitive science*, 12(1), 1-48.
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems. *SCIENCE*, 208(20), 1335-1342.
- Laurillard, D. (2002). *Rethinking university teaching: A conversational framework for the effective use of learning technologies*(2nd ed.). New York: Routledge/Falmer.
- Marion, J. B., & Thornton, S. T. (1995). *Classical Dynamics of Particles and Systems*(4th ed.). New York: Saunders College.
- Maxwell, J. C. (1991). *Matter and motion*. Courier Corporation.
- Mayer, R. (1983). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: W.H. Freeman and Company.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F., (1999). Resource letter PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755-767.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & Van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- Means, B. (1993). Cognitive task analysis as a basis for instructional design. In M. Rabinowitz(ed.), *Cognitive science foundations of instruction*(pp. 97-118). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Meriam, J. L., & Kraige, L. G. (2007). *Engineering Mechanics*(6th ed.). Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons
- Milbourne, J., & Bennett, J. (2017). Research Projects in Physics: A Mechanism for Teaching Ill-Structured Problem Solving. *The Physics Teacher*, 55(7), 418-421.

- Next Generation Science Standards: For States, By States. (2013).
The National Academies Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (Vol. 104, No. 9). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Rebmann, G., & Viennot, L. (1994). Teaching algebraic coding: Stakes, difficulties, and suggestions. *American Journal of Physics*, 62(8), 723-727.
- Reif, F. (1995). *Understanding Basic Mechanics*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Renzulli, J. S., and Reis, S. M. (1994). Research related to the School Wide Enrichment Model. *Gifted Child Quarterly*, 38, 2-14.
- Robertson, W. C. (1990). Detection of cognitive structure with protocol data: Predicting performance on physics transfer problems. *Cognitive Science*, 14, 253-280.
- Roscoe, R. D., & Chi, M. T. (2008). Tutor learning: The role of explaining and responding to questions. *Instructional Science*, 36(4), 321-350.
- Rutherford, F. J. & Ahlgren, A. (1990). *Science for all Americans*. New York: Basic Books, Inc., Publishers.
- Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76(6), 559-580.
- Scandura, J. M. (1977). *Problem solving: A structural/process approach with instructional implications*. New York: Academic Press.
- Schank, R. C. (1982). *Dynamic memory: A theory of reminding and learning in computers and people* (Vol. 240). Cambridge: Cambridge University Press.

- Scheele, B., & Groeben, N. (1984). *Die Heidelberger Struktur – Lege – Technik (SLT). Eine Dialog – Konsens – Methode zur Erhebung subjektiver Theorien mittlerer Reichweite*. Weinheim: Beltz.
- Seel, N. M. (1999). Educational diagnosis of mental models: Assessment problems and technology-based solutions. *Journal of Structural Learning and Intelligent Systems*, 14(2), 153–185.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers with modern physics*(10th ed.), Cengage learning.
- Sher, B. T. (1992). *Guide to science concepts*. Williamsburg, VA: The College of William and Mary School of Education Center for Gifted Education.
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial intelligence*, 4(3–4), 181–201.
- Simon, H. A., & Lea, G. (1974). *Problems solving and rule induction: A unified view*. In L. W. Gregg(Ed.), *Knowledge and cognition*. Hillsdale, NJ:Erlbaum.
- Sinclair, M., & Hamilton, A. (2014). Mapping group intuitions. In M.Sinclair (ed.), *Handbook of research methods on intuition* (pp.199–216). Cheltenham: Edward Elgar.
- Singh, C. (2002). When physical intuition fails. *American Journal of Physics*, 70(11), 1103–1109.
- Spector, J. M., & Koszalka, T. A. (2004). *The DEEP methodology for assessing learning in complex domains (Final report to the National Science Foundation Evaluative Research and Evaluation Capacity Building)*. Syracuse, NY: Syracuse Uni
- Spiro, R. J. (1988). *Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains*. Technical

Report No. 441.

- Stepien, W. J., Gallagher, S. A., & Workman, D. (1993). Problem-based learning for traditional and interdisciplinary classrooms. *Journal for the Education of the Gifted*, 16(4), 338-357.
- Symon, K. R. (1971). *Mechanics*(3rd ed.). Eoston: Addison-Wesley.
- Thomas W. W. (1896). *Elements of Mechanics Including Kinematics, Kinetics and Statics*. E and FN Spon.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for scientists and engineers*. Macmillan.
- Van Zee, E. H., Iwasyk, M., Kurose, A., Simpson, D., & Wild, J. (2001). Student and teacher questioning during conversations about science. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 38(2), 159-190.
- Voss, J.F., Lawrence, J.A., & Engle, R.A. (1991). *From representation to decision: An analysis of problem solving in international relations*. In Sternberg, R.J. & Frensh, P.A. (Eds.). Hilldale, NJ: Erlbaum.
- Walker, J. D. (2010). *Fundamentals of physics*(Halliday & Resnick) *extended*(10th ed.), Wiley.
- Webb, N. M., & Palincsar, A. S. (1996). *Group processes in the classroom*. Prentice Hall International.
- Whitehead, A. N. (1929). *The aims of education and other essays*. New York: Free Press.
- Wilkinson, W. K., & Maxwell, S. (1991). The influence of college students' epistemological style on selected problem-solving processes. *Research in Higher Education*, 32(3), 333-350.
- Wilson, C. E. (2003). *Kinematics and dynamics of machinery*.

- Pearson Education.
- Yeates, L. B. (2004). *Thought Experimentation: A Cognitive Approach*. Graduate Diploma in Arts (By Research) dissertation, University of New South Wales.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2014). *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics Technology Update*(13th ed.). Pearson Education.
- Zafarani, R., Abbasi, M. A., & Liu, H. (2014). *Social media mining: an introduction*. Cambridge University Press.

【부록 1】 IRB 심의결과 통보서

심의결과 통보서

수신

책임연구자	이름: 최우석	소속: 사범대학 과학교육과	직위: 박사과정
지원기관	해당없음		

과제정보

승인번호	IRB No. 1805/003-018		
연구과제명	과학교등학교 학생들의 '문제 만들기 활동'을 통한 물리 개념 적용 및 문제 구조화 과정 분석		
연구종류	학술 연구, 학위 논문 연구, 관찰연구, 면담(FGI 포함), 참여관찰		
심의종류	재심의		
심의일자	2018-05-28		
심의대상	연구계획서(재심의), 연구참여자용 동의서 또는 동의서 면제 사유서, 재심의 답변서		
심의결과	승인		
승인일자	2018-05-28	승인유효기간	2019-05-27
정기보고주기	12개월		
심의의견	1. 심의결과 제출하신 연구계획에 대해 승인합니다. 2. 연구자께서는 승인된 문서를 사용하여 연구를 진행하시기 바라며, 만일 연구진행 과정에서 계획상에 변경사항(연구자 변경, 연구내용 변경 등)이 발생할 경우 본 위원회에 변경 신청을 하여 승인 받은 후 연구를 진행하여 주십시오. 3. 유효기간 내 연구가 끝났을 경우 종료 보고서를 제출하여야 하며, 승인유효기간 이후에도 연구를 계속하고자 할 경우, 2019-04-27 까지 지속심의를 받도록 하여 주십시오.		
검토의견	계획서 검토 의견 동의서 검토 의견 기타 검토 의견		

2018년 05월 28일

서울대학교 생명윤리위원회 위원장








【부록 2】역학문제 만들기 활동일지(양식)

IRB No. 1805/003-018

유효기간: 2019년 5월 27일

‘물리문제 만들기’ 일지

일 시	2018년 ()월 ()일				
단 원 명					
자신이 생각하는 물리(역학)에 대한 흥미는? (해당 부분에 O표 해주세요.)	매우 흥미있다. 	흥미있다. 	보통이다. 	흥미없다. 	매우 흥미없다. 
자신이 생각하는 물리개념에 대한 이해도는? (해당 부분에 O표 해주세요.)	상위권	중상위권	중위권	중하위권	하위권
지금까지 배운 내용을 토대로 자신만의 문제를 만들어 보세요. [가능하다면 풀이도 함께 작성]					
[문제]					

[풀이]

위 문제를 만드는데 걸린 시간은 어느 정도인가요?	
-----------------------------	--

이 문제를 만드는 과정에서 필요했던 물리개념이나 법칙에 대해서 간단히 작성해주세요.

이 문제를 만드는 과정에서 참고가 되었던 것(자연 현상, 일상 경험, 다른 문제)에 대해 간단히 작성해주세요.

문제를 만드는 과정에서 생략(단순화)하거나 추상화된 내용이 있다면 간단히 작성해주세요.

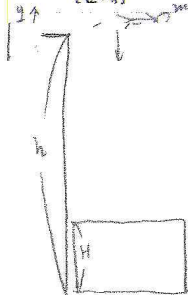
문제와 풀이의 완성도는 어느 정도라고 생각하나요? (해당 부분에 O표 해주세요.)	매우 높다.	높다.	보통	부족하다.	매우 부족
문제와 풀이의 완성도와 관련하여 위와 같이 생각하는 이유에 대해서 간단히 작성해주세요.					

문제의 복잡도(혹은 어려운 정도)는 어느 정도 라고 생각하나요? (해당 부분에 O표 해주세요.)	매우 어렵다. (매우 복잡)	어렵다. (복잡)	보통	쉽다. (간단)	매우 쉽다. (매우 간단)
문제의 복잡도(혹은 어려운 정도)와 관련하여 위와 같이 생각하는 이유에 대해서 간단히 작성해주세요.					

'문제 만들기' 활동이 자신의 물리(역학) 학습에 미친 긍정적(혹은 부정적) 영향에 대해서 간단히 작성해주세요.

【부록 3】역학문제 만들기 활동일지 사례

【문제】



○ 운동 문제를 만들 때는 보통 '도망' 개념을 1cm 정도 더 높이 올리고 '점프' 시간 분
 고려하지 않는다. 사람이 최대 $1.20 \times 10^4 \text{ N}$ 까지의 힘을 낼 수
 있고, 사람의 질량이 60 kg 이다.

1) 높이 h 에서 떨어지는 사람을 구하기 위해 필요한 도망대 위의 최소 높이를 구하라.

2) 두께 H (cm) 인 도망대 표면과 구를 수 있는 사람의 최대 낙하 높이를 구하라.

3) 사람의 중심 속도가 53 m/s 라고 할 때, 중심속도로 떨어지는 사람을 구하기 위한
 도망대 높이를 구하라.

【풀이】

도망대 위의 높이 h 를 구하는 문제.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg(h-H)$$

$$\therefore v = \sqrt{2g(h-H)}$$

○ 중심속도의 변화량은 $-(m\sqrt{2g(h-H)})$

$$\therefore m\sqrt{2g(h-H)} = F \Delta t = F(0.01 \times 100 \times H)$$

$$\therefore F = \frac{m\sqrt{2g(h-H)}}{H} \leq 1.20 \times 10^4$$

$$\therefore 2mg(h-H) \leq 1.44 \times 10^8 H^2$$

$$\therefore 1.44 \times 10^8 H^2 + 2mgH - 2mg h \geq 0$$

$$\therefore H \geq \frac{\sqrt{2mg + 2.88 \times 10^8 mg h} - mg}{1.44 \times 10^8} \quad (> 1 \text{ cm})$$

$$\therefore H_{\min} = \frac{\sqrt{2mg + 2.88 \times 10^8 mg h} - mg}{1.44 \times 10^8}$$

$$\frac{m\sqrt{2g(h-H)}}{H} \leq 1.20 \times 10^4 \quad \text{에서,}$$

$$2mg(h-H) \leq 1.44 \times 10^8 H^2$$

$$\therefore 2mg h \leq 2mgH + 1.44 \times 10^8 H^2$$

$$\therefore h \leq H + \frac{0.72 \times 10^8}{mg} H^2$$

○ $h_{\max} = H + \frac{0.72 \times 10^8}{mg} H^2$

○ 중심속도의 변화량은 $0 - (-53 \text{ m/s}) = 53 \text{ m/s}$

$$\therefore 53 \text{ m} = F \Delta t = FH$$

$$\therefore F = \frac{53 \text{ m}}{H} \leq 1.20 \times 10^4$$

$$\therefore H \geq \frac{53}{1.20 \times 10^4} \text{ m}$$

$$\therefore H_{\min} = \frac{53}{1.20 \times 10^4} \text{ m} \approx 4.41 \times 10^{-3} \text{ m}$$

위 문제를 만드는데 걸린 시간은 어느 정도인가요? 1시간

[연구 참여자의 10주차 역학문제 만들기 활동일지(일부분)]

[문제]

한빛과학고에 새로운 대회가 개최되었다고 한다.
경기방식을 설명하자면 일단 개인전으로 진행한 뒤 4명이
남으면 그 뒤로 2인 1조로 팀이 되어 팀대항전을 벌인 뒤
최종 우승 팀을 뽑는다. 개인전은 랜덤하게 고른 바스켓 재료 (사전에 질량 명시)
를 랜덤하게 구비된 2인 1조가 서로의 재료에게 던져 중도 후 속도를 비교해
값이 더 큰 사람이 이기게 된다. 단체전은 2인 1조가 동일한 방식으로
진행, 이번엔 반발계수를 구해 더 값이 큰 팀이 최종우승을 하게 된다.
한빛이는 질량이 5인 고무공을 고르게 되었는데 상대편은 질량이 3인 클로공이었다.
한빛이는 30cm/s 속도로 던졌고, 상대는 35cm/s의 속도로 던졌다.
한빛이는 졌을까 이겼을까? (여기서 반발계수는 0.2라 생각.)
한편 하현이는 한빛이란 다르게 경주까지 가게 되었는데, 상대팀은 아이슬레이아 고무공으로
반발계수 0.7이 나왔다. 하현이는 야구공, 한빛이는 농구공을 골라, 각각 저항속도가
30cm/s, 20cm/s가 나왔고, 중도 후 속도는 각각 15cm/s, 20cm/s가 나왔다.
하현이는 상대팀을 이겼을까?

[풀이]

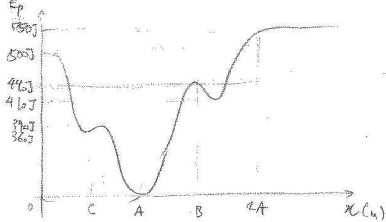
$$\begin{aligned}
 & (1) \text{ 고무공의 질량} = m_1, \quad \text{클로공의 무게} = m_2 \\
 & \text{고무공의 속도} = v_1, \quad \text{클로공의 속도} = u_1 \\
 & \text{바스켓속도} = v_1', \quad \text{야구공속도} = u_1' \\
 & v_1' = 30 - \frac{3(1+0.2)}{5+3} (30-20) \quad v_2' = 35 - \frac{5(1+0.2)}{5+2} (30-20) \\
 & = 30 - \frac{3+0.6}{8} \times 10 \\
 & = 30 - 4.5 \\
 & = 25.5 \\
 & = 35 - \frac{15}{2} = \frac{70-15}{2} \\
 & = \frac{55}{2} = 27.5 \\
 & \therefore \text{한빛이가 졌다} \\
 & (2) \quad v_1 = 30 \quad v_2 = 20 \\
 & \quad v_1' = 15 \quad v_2' = 20 \\
 & e = \frac{20-15}{30-20} = \frac{5}{10} = 0.5 \\
 & \quad 0.5 < 0.7 \\
 & \therefore \text{졌다.}
 \end{aligned}$$

위 문제를 만드는데 걸린 시간은 어느 정도인가요?

1시간 10분

[심층 면담자 P의 10주차 역학문제 만들기 활동일지(일부분)]

[문제]



- 어떤 물체가 x 위치의 E_p - x 그래프를 따르며 운동한다고 한다. (바람/공기 저항 없음)
- 이 물체의 역학적 에너지 E 는 550J에서 시작하여, 물체가 운동을 하며 사방으로 방사하는 빛에 의해 에너지가 서서히 감소하여, A 지점에서 B로 이동할 수 없게 된다고 한다. 그러나 그래프 역으로 C로 갈 수 있다고 하면, 물체가 2A의 위치로 갈 수 있게 된다고 하는 것은 A에서부터 2A까지 가려면 (1) 그 길의 크기에 해당하는 A 를 이동해야 하니까
- (2) 이제 총 방출된 빛의 에너지도 매우 같은 크기의 물체는 한번 더 빼서서, $-A$ 의 값을 빼야 할 수 있는 것은 아니니까, A 의 값을 양적으로 합쳐서
- (단, 빛은 일정한 양의 E 로 방출되며, 물체가 이동할 방출된다.)

[풀이]

- (1) A의 E_p 가 A에서 최소 360J이므로 즉 (방사하는 빛의 E 의 크기/길이) $\leq \frac{180J}{1A/m}$ 이다. 또한 A에서 440J이므로 $\frac{440J}{1A/m} < \frac{E_p \text{의 크기}}{\text{길이}} \leq \frac{180J}{1A/m}$ 이다. \therefore A에서 2A까지 $160J < \Delta E < 180J$ 의 길이를 알아야 하지만, 빛은 연속적으로 방출되는 것이므로 $\frac{220}{1A} N < F \leq \frac{360}{1A} N$ 이다.
- (2) 1)에서 알 수 있듯이 A에서 B로 가는 동안 물체가 방출한 에너지의 크기와 같은 에너지의 물체가 정지한 위치에서 있는 위치는 C가 있다. (A에서 B로 가는 동안)

위 문제를 만드는데 걸린 시간은 어느 정도인가요?

45분

[심층 면담자 J의 8주차 역학문제 만들기 활동일지(일부분)]

ABSTRACT

An Analysis of the Processes of Applying Physical Concepts and Structuring Problems through 'Activity of Making Problem – mechanics(AMP-m)' by Science High-School Students

Wooseok CHOI

Physics Education Major

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

Discussions on various aspects of problems have circled around in science education research. In particular, problems have been dealt with from the viewpoint of improving ‘problem solving ability’ with learners solving problems suited to their level. However, it is difficult to accurately grasp the level of learners and to provide appropriate problems. The problem that is easier than the level of the learner causes the learner to be bored, while the difficult one leads the learner to experience failure in figuring it out and finally degrades the learning motivation and interest. In addition, existing science education research centering on the problem mainly focused on the

learner 's cognitive and affective change assuming a passive interpreter of the presented problems. It is time to study a learner as an active problem maker rather than a passive problem solver.

The purpose of this study is to explore the features and structuring process in the mechanics problem activity of science high school students who are likely to grow as researchers in science and engineers. To this end, the researchers developed ‘activities of making mechanics problem’ journal to identify the interests, understanding, the time taken to complete the problem, applied mechanics concepts, simplified contents, completeness and complexity of the problem the students put. A total of 4 ‘mechanics problem-making’ activities were conducted from May to July 2018 by 69 first-year students at a science high school in Seoul, who agreed to participate in this study. The activity-journal of the participants was analyzed, and four students were selected as interviewees. The analysis of the activity journal created by the participants was conducted to find features of the mechanics problem of the science high school students. After that, four participants were selected as in-depth interviewees to investigate the structuring process of mechanics problems in detail.

As a result, the mechanics problems of science high school students had the following features. First, the participants maintained a high level of interests and understanding that was consistently above a certain level in relation to the field of mechanics. Based on this, the participants were producing mechanics problems with relatively high completeness. On the other hand, the physical quantities that were collected from the mechanics problems of the students show that the students constructed the mechanics

problems mainly centering on ‘mass’, ‘time’ and ‘length’ which correspond to the basic dimension in mechanics. Based on these physical quantities, it was confirmed that participants were making problems of finding ‘speed’, ‘mass center’, and ‘variables related rotational motion’. Through the analysis of frequency, it was also verified that, when presenting physical quantities in character form rather than numerals, the participants evaluate the completeness and complexity of their problems more highly.

As a result of the text network analysis using the sentences written by participants, it was proved that the students were structuring the mechanics problem by applying related concepts based on the words ‘momentum’, ‘rotation’ and ‘conservation’. On the other hand, it can be attested that the degree of completeness and complexity of the problem are judged by different standards. In other words, the participants described the logic consistency between ‘problem’ and ‘interpretation’ as a basis for judging the completeness. On the other hand, in the description related to complexity, it can be confirmed that the description related to the difficulty of problem solving mainly appears in words such as ‘concept’, ‘conservation’, and ‘calculation’. In addition, it was certified that the learners had a meaningful learning experience to apply new concepts of mechanics themselves through the ‘activities of making mechanics problems.’

On the other hand, there was a typical example of the mechanics problem created by the research participants just referring to existing mechanics problems, and there were cases where an original type of problem with high completeness and complexity was made to judge for itself. In both cases, I can see the discontinuous relationship between concept and problem, which

is a feature of ill-structured problems.

Later, in-depth interview conducted to identify learners' concepts and the process of structuring problems discovered that learners were able to see common progress through three stages: applying concepts, simplifying (or concretizing) and correcting problems through solving mechanical problems. And, in the application of the concept, two main cases were found: the case of selecting the problem situation focusing on the mechanics concept and the case of selecting the mechanics concept based on the problem situation. Finally, in the course of correcting the problem, the study could confirm conflicts between the numbers that are similar to the actual situation and the numbers that are easy to calculate according to the presentation method of the physical quantity.

On the other hand, there were cases in which participants were worried about what can be more effective way of learning their mechanistic concept between 'solving problem' and 'making problem' activities. However, overall, it was confirmed that more active concept learning is being achieved through the experience of applying the new mechanics concept through the problem situation with the 'activities of making mechanics problems'. Furthermore, it has been confirmed that motivation to learn more about mechanics concepts and procedural knowledge is induced through ongoing review of their problems.

Previous research on science education related to problems has been mainly focused on how learners solve problems when the instructor, who is an expert of the subject, suggests well-structured problems that are deemed appropriate for the learner's cognitive level. However, the 'activities of

making mechanics problems' proposed in this study could be a new alternative to physics-learning in that it could provide learners with a significant experience of actively applying the abstract mechanics concepts they have learned to problem situations, away from learners as passive problem solvers.

Keywords : Science high-school students, Mechanics, Activity of Making Problems, Applying concepts, Structuring, Ill-structured problems

Student Number : 2014-30510